

5 検証結果のまとめと考察

5.1 高精度 GNSS 受信機による計測座標の精度

上空が開けた平地での高精度 GNSS 受信機による計測座標の水平誤差は、第 3 章の図 3.1.1 (P14) に示したように、2 周波 GNSS 受信機で 63 cm とサブメータ級、CLAS 対応 GNSS 受信機で 4 cm とセンチメータ級の精度であった。

他方、上空が十分に開けていない場所や電波を反射する障害物がある場所では、誤差が大きくなりやすく、山地の森林では、樹木や地形による開空率の制約や電波の反射など受信環境の制約があることから、今回、測位精度の検証を実施した。

群馬県安中市内の国有林 2 箇所（検証区域 I、検証区域 II）において、各測点をトータルステーションで計測した座標を真値と仮定し、GNSS 受信機で計測した座標の水平誤差を測位方式別にまとめ、表 5.1 に示す。

同一林分であっても測点によって、測位誤差は数 cm 程度から数 m まで比較的大きく変化するが、測位方式ごとに見ると、特に 1 周波 GNSS の測位誤差が大きいことがわかる。

表 5.1 山地林内の通常計測の水平誤差

(単位：m)

測位方式	検証区域 I (114 林班) での水平誤差	検証区域 II (156 林班) での水平誤差
① 単独測位 SBAS・CLAS		
2 周波 GNSS	平均 1.82 (0.05～6.20)	平均 2.14 (0.27～6.36)
CLAS 対応 GNSS	平均 2.03 (0.20～6.73)	平均 1.69 (0.19～6.19)
1 周波 GNSS	平均 3.20 (0.11～10.59)	平均 3.93 (0.60～12.35)
② ネットワーク型 RTK		
2 周波 GNSS	平均 0.47 (0.01～2.90)	平均 1.42 (0.04～5.82)
③ 無線 RTK		
2 周波 GNSS	平均 1.31 (0.33～3.78)	平均 2.20 (0.48～4.04)

また検証区域 I の主要 5 測点において、5 分間連続計測した平均座標の水平誤差と通常計測における水平誤差を表 5.2 に、15 分連続計測した RAW データを後処理 (PPK) して得られた計測座標の水平誤差を表 5.3 に示す。

表 5.2 主要測点における連続計測と通常計測の水平誤差の対比

測位方式	水平誤差（連続計測）	水平誤差（通常計測）
2周波 GNSS	平均 1.92(0.42～2.78)	平均 1.62(0.42～3.42)
CLAS 対応 GNSS	平均 0.47(0.18～1.35)	平均 1.61(0.59～2.94)

注：5分連続計測の1分経過後の平均座標の水平誤差と、通常のGNSS計測方法（10回平均座標）で得られた測位座標の水平誤差を対比した。

表 5.3 PPK 処理による水平誤差

測位方式	水平誤差 (m)
2周波 GNSS	平均 1.39 (0.66～3.55)

注：検証区域 I の主要 5 測点で 15 分連続計測したデータの
後処理(PPK)により得られた座標の水平誤差

【まとめ】

- ・森林内を含め 2 周波以上の GNSS の計測精度は 1 周波 GNSS よりも向上している。
- ・RTK（ネットワーク型または無線）が成功すれば精度はさらに向上、または最大誤差が小さくなった。
- ・CLAS 対応 GNSS では 1 分経過後の 4 分間の平均座標をとると精度がさらに向上した。
- ・PPK（後処理）については、精度は比較的高いが、1 測点あたり 15 分以上の計測を要するなど、通常の計測方法よりも、5 倍の時間がかかった。

【考 察】

以上の結果から、森林調査において活用できる測位方式は、表 5. 4 に示す 3 つの方式を調査林分の条件に応じて選択することが効果的・効率的と考えられる。

表 5.4 調査林分の条件に応じた測位方式

インターネットの状態	圏 外		圏 内
測位方式	①単独測位・SBAS・CLAS	②無線RTK	③ネットワーク型RTK

5.2 高精度 GNSS 受信機による計測面積の精度

高精度 GNSS 受信機による森林内の計測面積の精度は次のとおり。

① 単独測位・SBAS・CLAS

高精度 GNSS 受信機の通常計測の面積誤差率は概ね 2 % 以内。ただし小面積や細長い区域では 3 ~ 4 % になる場合 (18 件のうち 3 件) があった。(比較用の 1 周波 GNSS では誤差率の最大値が 4 ~ 8 % になる場合があった。)

② ネットワーク型 RTK

面積誤差率は概ね 1 % 以内であった。ただし小面積や細長い区域では 2 ~ 3 % になる場合 (12 件のうち 2 件) があった。

③ 無線 RTK

面積誤差率は概ね 1 % 以内であった。ただし小面積や細長い区域では 2 ~ 3 % になる場合 (6 件のうち 2 件) があった。

表 5.4 全区域の面積誤差率

(単位 : %)

測位方式	検証区域 I (2.21ha)	検証区域 II (1.95ha)
① 単独測位 SBAS・CLAS		
2周波 GNSS	平均 1.44 (0.72~1.96)	平均 0.74 (0.34~1.32)
CLAS 対応 GNSS	平均 1.47 (0.53~2.41)	平均 0.85 (0.76~0.93)
1周波 GNSS	平均 1.26 (0.88~1.64)	平均 2.50 (0.30~4.70)
② ネットワーク型 RTK (2周波 GNSS)	平均 0.21 (0.14~0.28)	平均 0.57 (0.28~0.85)
③ 無線 RTK 2周波 GNSS	0.13	0.69

注 : () 内は面積誤差率の範囲

表 5.5 分割区(A~Fの区域)の面積誤差率

(単位 : %)

測位方式	面積誤差率	面積誤差率の範囲
① 単独測位 SBAS・CLAS		
2周波 GNSS	平均 1.57	0.06 ~ 4.31
CLAS 対応 GNSS	平均 1.50	0.00 ~ 3.37
1周波 GNSS	平均 2.50	0.06 ~ 8.82
② ネットワーク型 RTK (2周波 GNSS)	平均 0.88	0.03 ~ 2.77
③ 無線 RTK 2周波 GNSS	平均 1.22	0.03 ~ 3.19

【まとめ】

- ・森林内であっても2周波以上のGNSSの計測精度は1周波GNSSより向上している。
- ・RTK（ネットワーク型または無線）が成功すれば精度はさらに向上する。
- ・高精度GNSSの通常計測の面積誤差は概ね2%以内。ただし小面積や細長い区域では3～4%になる場合があった。

【考 察】

今回、2周波GNSS受信機やCLAS対応GNSS受信機を用いて山地の森林内で測位精度の検証を行ったところ、従来の1周波GNSS受信機に比べて精度の向上が明らかとなった。これらの機器を適切に用いることができれば、収穫調査の周囲実測に十分活用できるものと考えられる。

他方、GNSS計測では、小面積や細長い区域では面積の誤差率が大きくなる場合がある（例：3～4%等）。このため、座標の揺れや指標値が小さくなっていることを確認しながら計測する、測点をこまめにとる等に留意する。

特に、標準地では調査結果を全林に面積倍率で拡大することから、注意が必要と考える。その対策としては、例えば、精度を高める次の測位方法も検討することが望ましい。

- ・RTK測位を実施する。
- ・CLAS対応受信機で3～4分連続計測して平均座標を求める。

なお、林況等によってGNSS計測の測位精度が期待しがたい場合などは、GNSS計測以外の計測方法も検討することが望ましい。

- ・地上レーザ計測による標準地調査（標本ライン調査）では、標準地の区域実測が不要である（レーザ計測データからPC上で区域を設定し正確な面積を計測できるため）。
- ・コンパス測量等の実施。

6 周囲実測の効率化に向けた検討

精度検証等を行った計測手法について、測位の安定性や作業効率、計測に伴う機能、可搬性、耐久性、導入コストなどを総合的に考慮し、収穫調査への導入に適した機器や測位方式を検討した。

その結果、今回検証した2周波以上のGNSS受信機は、既存の1周波GNSS受信機に比べ、精度が向上しており、測位の安定性が認められ、可搬性等も問題ないと考えられた。導入コストについても、数十万円までとなっており、従前の高性能GNSS機器（例：百万円以上）よりも低くなっている。

測位方式については、調査林分の条件に応じて、次の3方式から選択することが効果的と考えられる。

- (インターネット圏外) ①単独測位・SBAS・CLAS、②無線RTK
 (インターネット圏内) ③ネットワーク型RTK

これら測位方式やGNSS受信機を適切に運用することにより、収穫調査の周囲実測を効率的に行うことができるものと考えられる。

表6.1 今回の検証に用いた機種の特徴

機種	特徴
DG-PR01RWS	<ul style="list-style-type: none"> ・アプリの機能を簡素にして無料とし、精度の維持、低コストを実現。 ・国土地理院の1級測量機登録済み。 ・背景地図はGoogle Map、国土地理院基本図、航空写真がデフォルトで設定。
TK-1LT	<ul style="list-style-type: none"> ・モバイルGISアプリ(有償)で林小班界と等高線など背景地図の利用が容易。 ・計測区域の画面表示、その場での面積計算、測点補正などが可能。 ・PDOP、2DRMS等の指標も画面表示され、出力可能。
GG-2	<ul style="list-style-type: none"> ・2台用いることで無線RTKが実施できる。 ・モバイルGISアプリ(有償)で林小班界と等高線など背景地図の利用が容易。 ・指標の表示・出力、計測区域の画面表示、面積計算などが可能。
Cohac∞10	<ul style="list-style-type: none"> ・CLAS対応受信機。上空が開けた場所ではcm級の測位精度。 ・連続計測の平均座標を採用すれば林内でも2周波以上の精度が期待できる。 ・導入コストは2周波受信機よりやや高い。
QZR-SP	<ul style="list-style-type: none"> ・CLAS対応受信機。上空が開けた場所ではcm級の測位精度。 ・連続計測の平均座標を採用すれば林内でも2周波以上の精度が期待できる。 ・導入コストは2周波受信機よりやや高い。

注1：ネットワーク型RTKでは有料の高精度位置情報配信サービスを利用する。

注2：無線RTKでは、無線出力強度によって、基準局用受信機の「無線局登録」が必要であり、所要の電波利用料金(例：400円/年)が発生する。

注3：機種によって、有料アプリの追加コストがかかる場合がある。

7 GNSS 受信機による周囲実測の工期

周囲実測の効率化に向けた検討を行うため、検証箇所において測位方式毎の測位に要した時間を取りまとめ測位方式の区分毎に計測に要した工期を以下の表のとおり示す。工期は、林況、地形、傾斜等により相当異なるため、ここで示す工期はあくまでも参考の人工数である。

今回の計測では、コンパス測量の人工数に対して GNSS 受信機による計測は、約 1/2 以下の人工数で計測できた。これは、GNSS 受信機による測位は、コンパス測量の機器に比べ、三脚の備付、前後の見通しの確保のための刈り払いに要する時間が少なくなることが挙げられるほか、コンパス測量は 3 名（測量手、ポールマン、刈払手）が基本であるが、GNSS 計測の場合は、計測自体は基本的に 1 名で実行できる※ことから、人工数が少なくなった。

※ 実際の収穫調査では、計測作業以外の作業として、測点の設置作業、区域の表示作業があることから、単独行動にはならない。

表 7.1 現地計測に要した人工数

検証箇所	区域 面積 (ha)	周囲長 (m)	所要人工数 (人・日)				
			単独・ SBAS	単独・ CLAS	無線 RTK	ネットワー ク型 RTK	コンパス
検証区域 I	2.2144	724.69	0.19	0.20	0.26	0.16	0.56
検証区域 II	1.9491	628.55	0.20	0.22	0.30	0.18	1.30

注) 1 人工数算出に使用した受信機及び測位方法

DG-PRO1RWS : 単独・SBAS

DG-PRO1RWS : ネットワーク型 RTK

QZR-SP : 単独・CLAS

GG-2 : 無線 RTK

2 測量に従事した人数（検証区域 I は刈り払い済みの箇所）

- ・ GNSS 受信機は測量手 1 名で実施
- ・ 検証区域 I は測量手 1、ポールマン 1 の 2 名による人工数
- ・ 検証区域 II は測量手 1、ポールマン 1、刈払手 1 の 3 名による人工数

8 収穫調査における高精度 GNSS 活用の手引き

本事業で実施した高精度 GNSS 受信機による測位精度の検証結果等を踏まえ、森林管理局署の職員等を対象とした「収穫調査における高精度 GNSS 活用の手引」を作成した。

内容として、調査対象林分の衛星信号の受信環境等に応じた測位方式の選定、各測位方式の計測手順、GNSS 計測の実際と留意点、測位データの処理方法等を取りまとめた。その概要については、森林管理局署の職員等を対象に令和 5 年 2 月 21 日にオンライン説明会を開催した。

手引の構成

1 高精度 GNSS の概要

- (1) 高精度 GNSS とは
- (2) 森林内で用いる主な測位方式
- (3) 測位方式と通信環境

2 GNSS 計測の実際

- (1) 事前の確認と準備
 - ア Google Earth 等による区域、地形、林相等の確認
 - イ インターネット環境等の確認
 - ウ 測位方式の決定と携行機器の確認
 - エ 測位方式選定に際しての留意事項
 - オ 測点の設定
 - (2) 各測位方式に共通する計測手順
 - (3) GNSS 受信機による測位とデータ取得の留意事項
 - ア 2m ポール等の活用
 - イ 経路等の画面表示
 - ウ 計測座標の揺れ
 - エ PDOP,2DRMS などの指標
 - オ 衛星数と取得データ数
 - (4) 各測位方式の計測手順の概要
 - ア 単独測位・SBAS・CLAS
 - イ 無線 RTK 法
 - ウ ネットワーク型 RTK 法
- (中 略)

3 測位データの処理と活用

- (1) データ形式別の GIS 取込方法と面積計測
- (2) 複数回計測した測点データの整理
- (3) 位置ずれや歪みがないことの確認
- (4) 実測図等の作成

参考文献

- Brach, M. (2022) Rapid static positioning using a four system GNSS receivers in the forest environment. *Forests* 2022, 13(1), 45; <https://doi.org/10.3390/f13010045>
- Feng, T.ら(2022) Effects of canopy and multi-epoch observations on single-point positioning errors of a GNSS in coniferous and broadleaved forests. *Remote Sens.* 2021, 13(12), 2325; <https://doi.org/10.3390/rs13122325>
- 井貝紀幸 (2021) 森林内における RTK-GNSS 測定の水平誤差及びその低減に向けた受信機設定の検討. *日本森林学誌* 103:395-400
- Kaartinen, H.ら(2015) Accuracy of kinematic positioning using Global Satellite Navigation Systems under forest canopies. *Forests* 2015, 6(9), 3218-3236; <https://doi.org/10.3390/f6093218>
- 小林裕之ら (2022) 低コスト GNSS 受信機による森林内での測位正確度の検証. *日本森林学会誌* 104:1-9
- 国土地理院 (2020a) マルチ GNSS 測量マニュアル (案) 国土地理院技術資料 G1-No.18
- 国土地理院 (2020b) マルチ GNSS 測量マニュアル (案) 近代化 GPS、Galileo 等の活用. 解説国土地理院ホームページ. GNSS を活用した測定のいろいろ. (2023 年 2 月 10 日閲覧)
- 国土地理院ホームページ. セミダイナミック補正. (2023 年 2 月 10 日閲覧)
- 国土地理院ホームページ. ジオイドとは. (2023 年 2 月 10 日閲覧)
- 内閣府ホームページ みちびき (準天頂衛星システム) . (2023 年 2 月 10 日閲覧)
- 大島愛彦 (2021) 岐阜県における森林の測量・計測技術の普及に向けた取組. *森林技術* 948
- 林野庁 (2018) 「国有林における収穫調査等の効率化手法実践体制構築委託事業」報告.
- 林野庁北海道森林管理局十勝東部森林管理署 QGIS 参考マニュアル
- 松井尊大ら(2016) GNSS 受信機を用いた収穫調査の周囲測量についての考察. 東北森林管理局森林林業技術交流発表会.
- 松岡真如ら (2018) GNSS 測量で得られた面積の精度評価指標. *日本森林学誌* 100:193-20
- Tomastik, J.ら (2017) Horizontal accuracy and applicability of smartphone GNSS positioning in forests. *Forestry* 90: 187–198
- Thomas Purfürst (2022) Evaluation of Static Autonomous GNSS Positioning Accuracy Using Single-, Dual-, and Tri-Frequency Smartphones in Forest Canopy Environments. *Sensors* 2022, 22(3), 1289; <https://doi.org/10.3390/s22031289>
- Valbuena, R.ら (2010) Accuracy and precision of GPS receivers under forest canopies in a mountainous environment. *Spanish Journal of Agricultural Research* 2010 8(4), 1047-1057.

(本事業で使用した GNSS 受信機説明書等)

- | | |
|----------------|----------------------------|
| ・ ビズステーション株式会社 | Drogger GPS アプリガイド |
| ・ 株式会社竹谷商事 | TK-1 LT 操作説明書 |
| ・ 株式会社ギョロマン | 高精度 GNSS GG-2/GG-2LT 操作ガイド |
| ・ 株式会社コア | Cohac∞10 取扱説明書 |
| ・ 合同会社 JPS | GNSS 受信機設定アプリ 操作説明書 |

用語説明

GNSS 全球測位衛星システム 衛星測位システム	Global Navigation Satellite System 元々は航空機・船舶等の航法支援用に開発されたシステムで GPS 衛星、地上管制局、利用者の受信機で構成される。利用者は4機以上の GPS 衛星からの距離を同時に知ることにより位置等を得ることができる。 注：6軌道面に衛星を30個配置すると地球の全域をカバー可。
GPS 全地球測位システム 衛星測位システム	Global Positioning System 米国国防総省が開発した人工衛星を利用した位置測定システムで GNSS の一つ。航空機・船舶、地上の車両等の受信者に三次元位置を与えるために使用される。 注：日本では初期から GPS を利用していたため、衛星測位システム全般を指してよぶことが多い。
QZSS 準天頂衛星システム	Quasi-zenith Satellite System 地域航法衛星システムであり、地上から高仰角で観測できる準天頂衛星を常に1機は見通せることができるようにするもの。日本は、H22年に実証のための初号機みちびき (QZS-1)を打ち上げ、H29年に3機を追加し、H30年から4機体制でシステム運用を開始している(注：2023年は7機体制となる予定)。 QZSはGNSSと併用して用いられる。
GIS 地理情報システム	Geographic Information System 地理空間情報(地点や区域の位置情報等)を管理・利用するシステム。
トータルステーション	トータルステーションとは、水平角と鉛直角を計測する経緯儀という器械に、測距儀の機能が内蔵された測量器械。
単独測位	GNSS 衛星から送信される衛星の位置や時刻などの情報を1台で受信し、4個以上の衛星から観測点の位置を決定するもの。誤差は約10m程度とされる。
SBAS 衛星航法補強システム	Satellite-Based Augmentation System GNSS の性能向上のためのシステムで、静止衛星の補助信号を用いて GPS などの衛星測位システムによる測位の誤差が補正される。誤差は上空が開けた場所でサブメータ級。
CLAS センチメータ級測位補強サービス	Centimeter Level Augmentation Service 電子基準点のデータを利用して補正情報を計算し、測位補強情報を準天頂衛星みちびきから送信するもので、誤差は上空が開けた場所でセンチメータ級。
RTK	Real Time Kinematic 移動する GNSS 受信機「移動局」と、事前に位置の分かっている GNSS 受信機「基準局」を無線又はインターネットで繋ぎ、移動局において衛星からの信号と基準局からの信号をリアルタイムで解析して観測点の計測精度を高める方式。

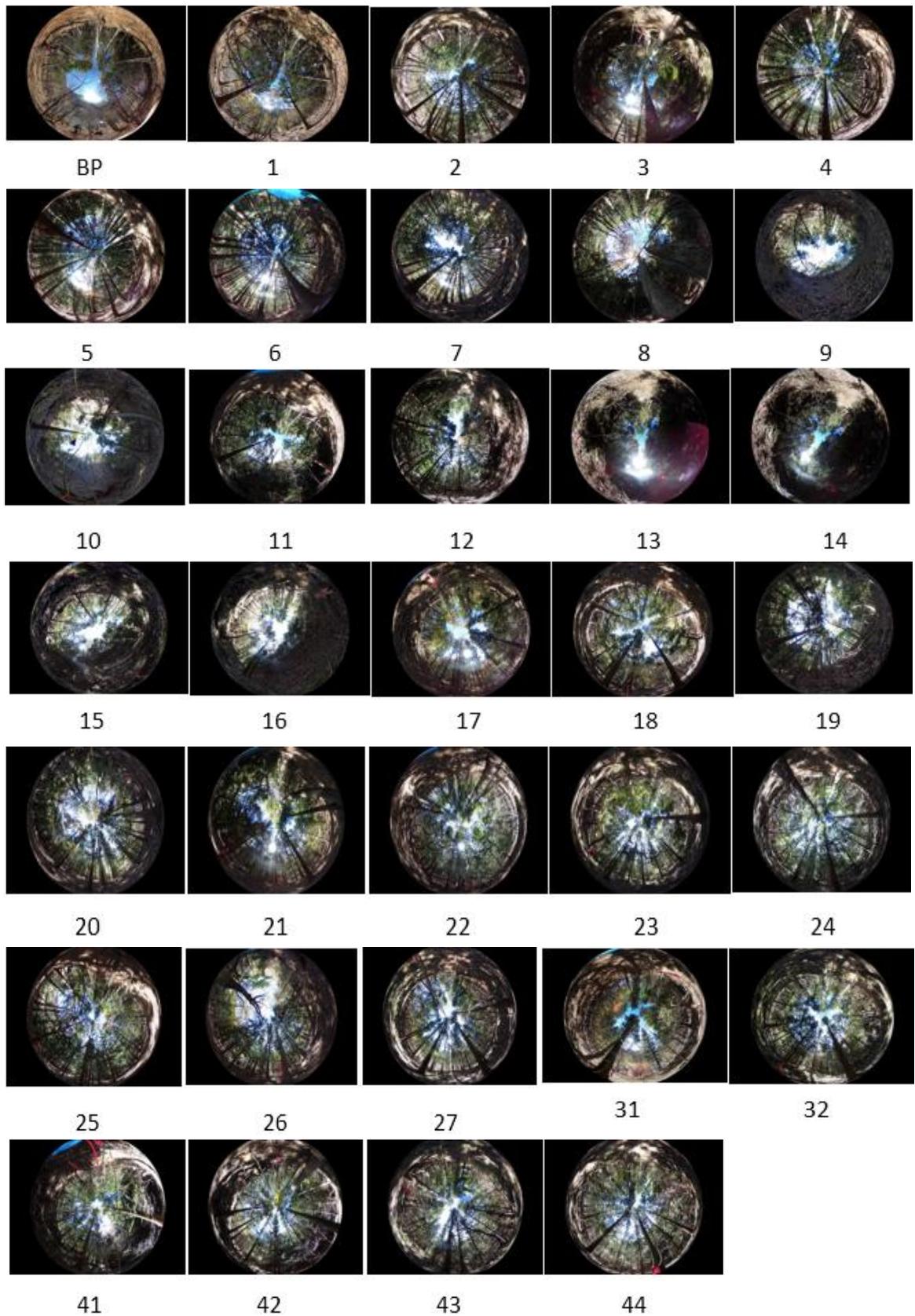
卷末資料

巻末資料（１） 検証地の林況等：検証区域Ⅰ 中木山国有林 114 林班

図 2.6 付表 各測点の開空率・地形・森林の状態（中木山国有林 114 林班）

測点	開空率%	地形	森林の状態	測点	開空率%	地形	森林の状態
BP	17.9	主谷下部、南向斜面	広葉樹	21	20.3	南向斜面	スギ林
1	13.6	主谷下部、南向斜面	スギ林	22	19.9	南向斜面	スギ林
2	22.3	主谷下部、南向斜面	スギ林	23	21.5	尾根	スギ林
3	17.5	主谷下部、南向斜面	スギ林 600本/ha 樹高19m	24	26.3	尾根	スギ林
4	18.8	谷底	スギ林	25	22.6	南東向斜面	スギ林
5	20.4	尾根	スギ林	26	26	南向斜面	スギ林
6	22.9	尾根	スギ林 1200本/ha 樹高15m	27	22.4	主谷下部、南向斜面	スギ林
7	24.3	尾根	スギ林 1200本/ha 樹高15m	31	14.8	平坦	スギ林
8	24.5	尾根	広葉樹	32	22.7	平坦	スギ林
9	23.6	谷底	スギ林	41	21.2	南向斜面	スギ林 600本/ha 樹高23m
10	23.6	谷底	スギ林	42	21.9	南向斜面	スギ林
11	19.7	南向斜面	スギ林	43	22.4	南向斜面	スギ林
12	19.8	東向斜面	スギ林	44	22.4	南向斜面	スギ林
13	19.4	谷底	スギ林				
14	15.7	谷底	スギ林	平均	21.6		
15	24	谷底	スギ林	最小	13.6		
16	26.2	西向斜面	スギ林	最大	26.3		
17	22.3	尾根	スギ林				
18	22.8	尾根	スギ林				
19	25.2	北向斜面	スギ林				
20	26.3	尾根	スギ林				

図 2. 5 付図 各測点の開空状況(中木山国有林 114 林班)

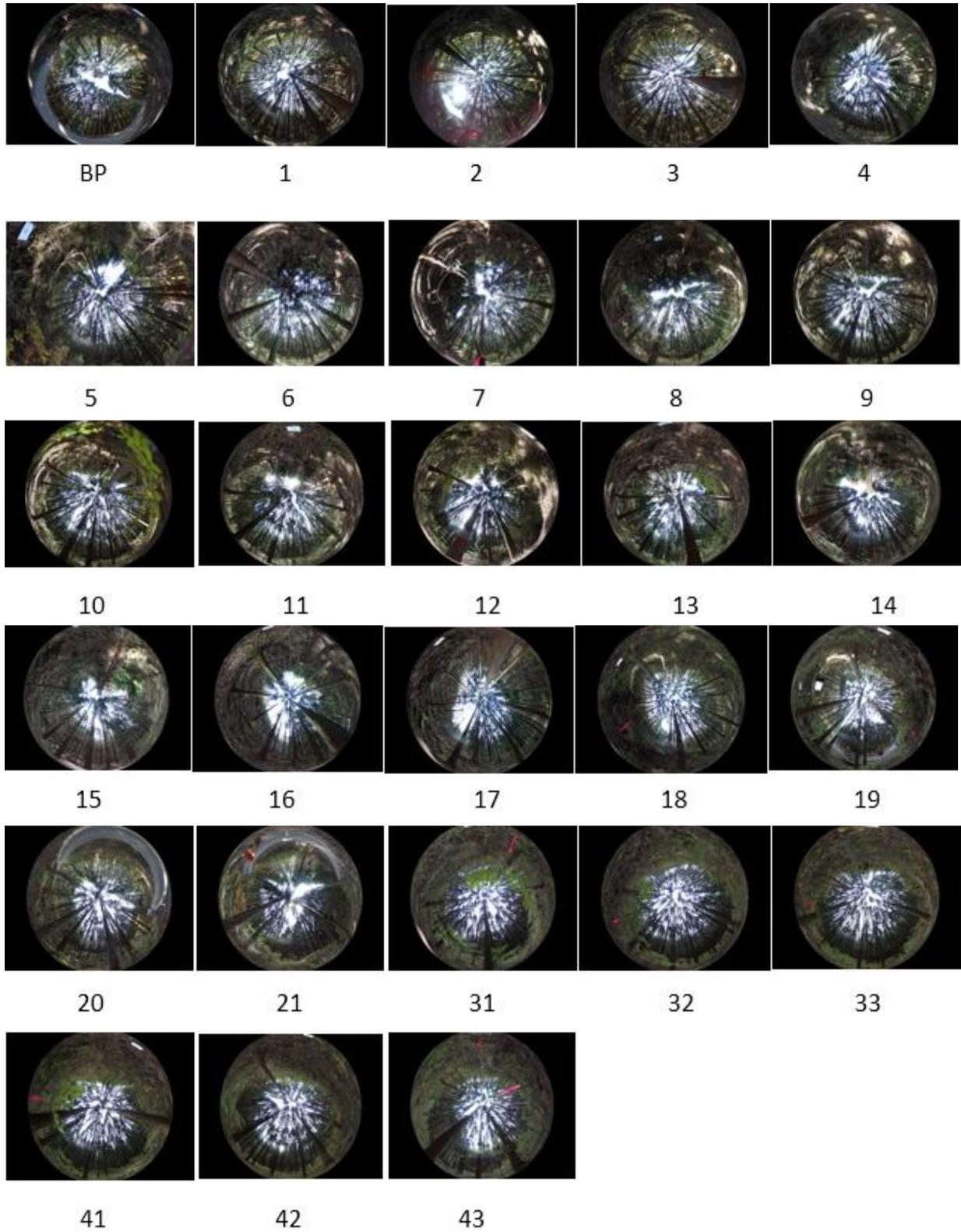


巻末資料（２） 検証地の林況等：検証区域Ⅱ 大平国有林 156 林班

図 2.11 付表 各測点の開空率・地形・森林の状態（大平国有林 156 林班）

測点	開空率%	地形	森林の状態	測点	開空率%	地形	森林の状態
BP	20.1	平坦	スギ林 道路脇	21	17.1	平坦	スギ林 道路脇
1	21.5	平坦	スギ林	31	18.4	西向斜面	スギ林
2	26.9	緩斜面	スギ林	32	19.5	西向斜面	スギ林
3	17.5	緩斜面	スギ林	33	19.1	南向斜面	スギ林
4	18.8	緩斜面	スギ林	41	18.3	南東向斜面	スギ林 樹高29m
5	20.4	南西向斜面	スギ林	42	18.8	南東向斜面	スギ林
6	22.9	南西向斜面	スギ林	43	19.6	南東向斜面	スギ林 樹高30m
7	19.3	南西向斜面	スギ林				
8	17.8	尾根	スギ林	平均	19.6		
9	19.7	尾根	スギ林	最小	16.6		
10	23.6	尾根	スギ林 樹高24m	最大	26.9		
11	19.8	南向斜面	スギ林				
12	16.6	南向斜面	スギ林				
13	17.9	南向斜面	スギ林				
14	17.8	南向斜面	スギ林				
15	18.5	谷上部	スギ林				
16	19.4	谷底	スギ林				
17	20.1	谷斜面	スギ林				
18	19.7	谷底	スギ林				
19	20.1	谷底	スギ林				
20	18.9	平坦	スギ林 道路脇				

図 2.10 付図 各測点の開空状況（大平国有林 156 林班）

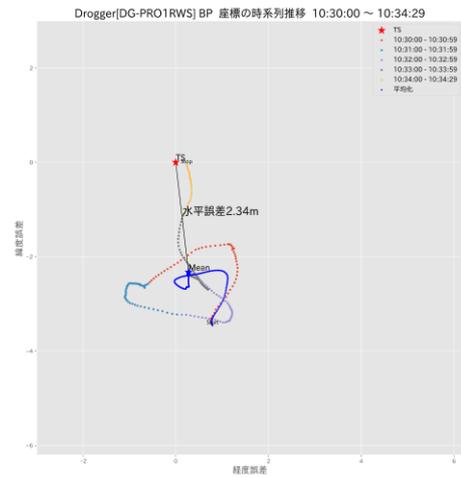
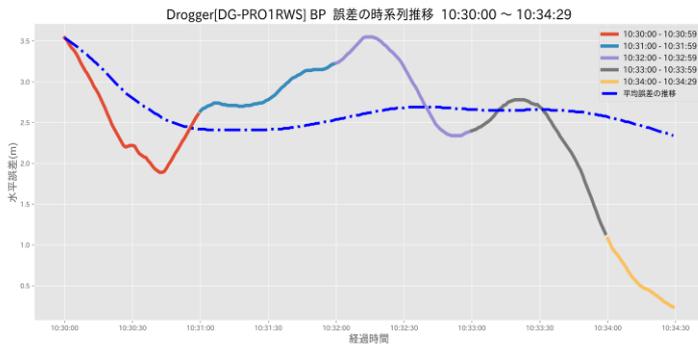


巻末資料（3）水平誤差の時系列変化および軌跡

（1）主谷の下部（測点 BP）

【2周波 GNSS】

平均座標の水平誤差 2.34m



【CLAS 対応 GNSS】

平均座標の水平誤差 0.33m

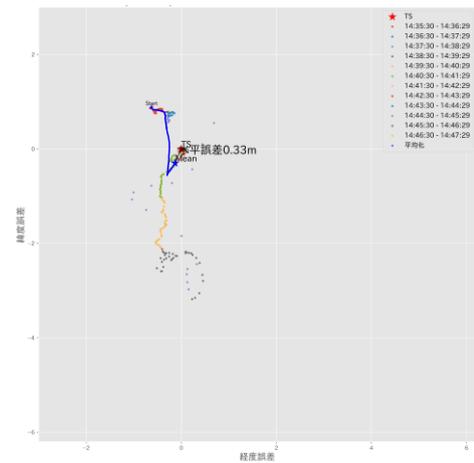
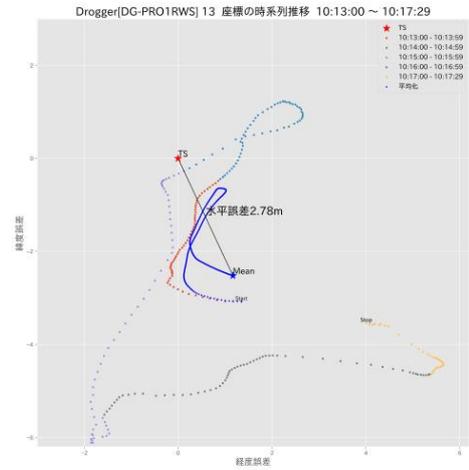
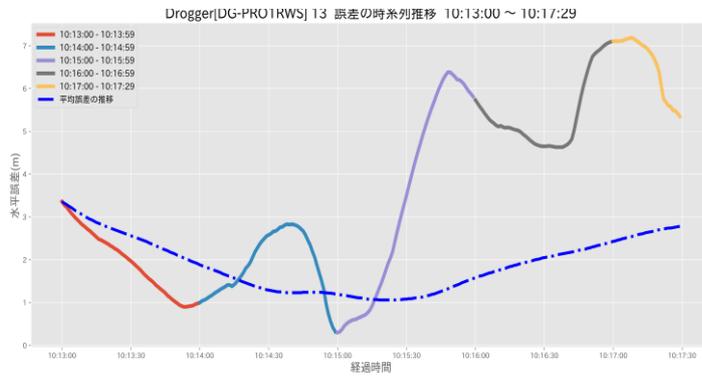


図 3.2.12 主谷の下部（測点 BP）における座標値の変化

(2) 谷底 (測点 13)

【2周波 GNSS】

平均座標の水平誤差 2.78m



【CLAS 対応 GNSS】

平均座標の水平誤差 0.28m

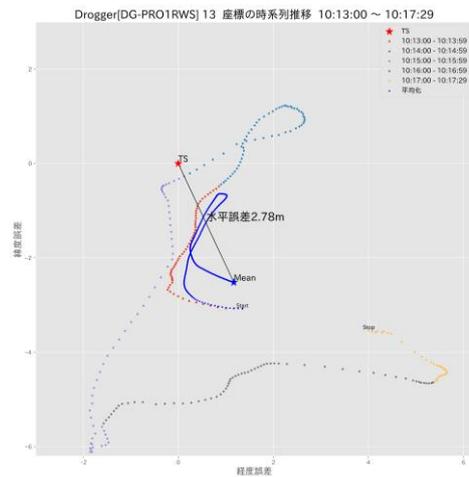
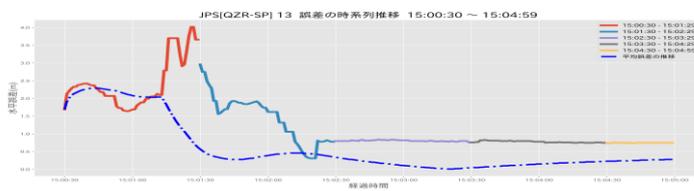
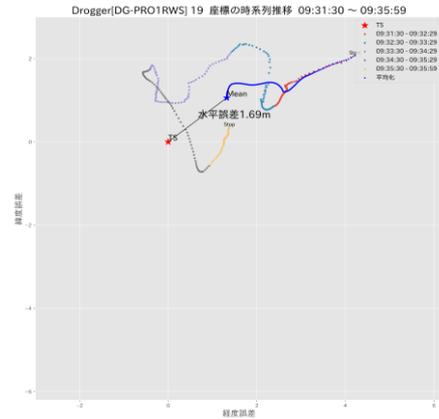
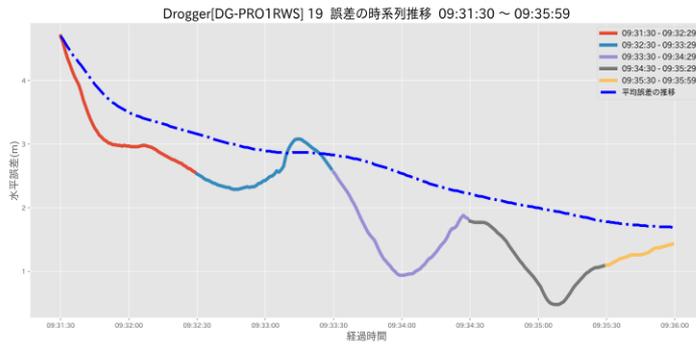


図 3.2.13 谷底 (測点 13) における座標値の変化

(3) 尾根付近 北斜面 (測点 19)

【2周波 GNSS】

平均座標の水平誤差 1.69m



【CLAS 対応 GNSS】

平均誤差の水平誤差 0.18m

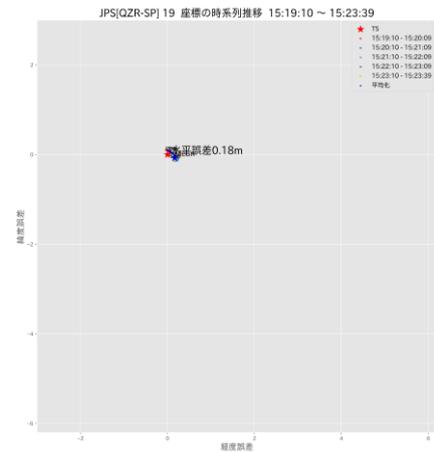
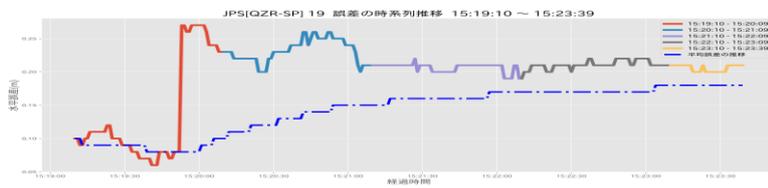
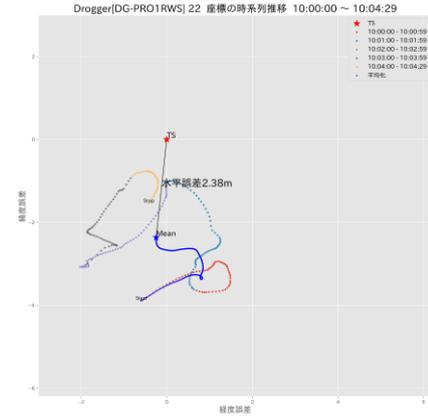
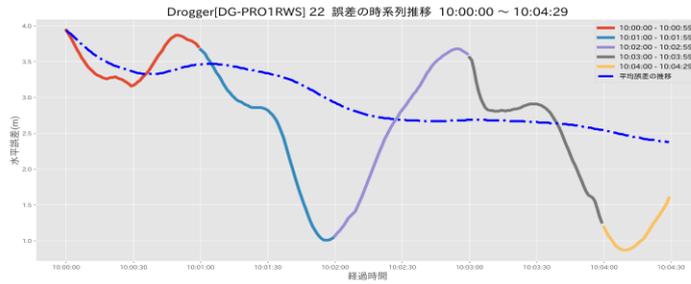


図 3.2.14 尾根付近 北斜面 (測点 19) における座標値の変化

(4) 尾根中腹・南向 (測点 22)

【CLAS 対応 GNSS】

平均座標の水平誤差 2.38m



【CLAS 対応 GNSS】

平均座標の水平誤差 1.35m

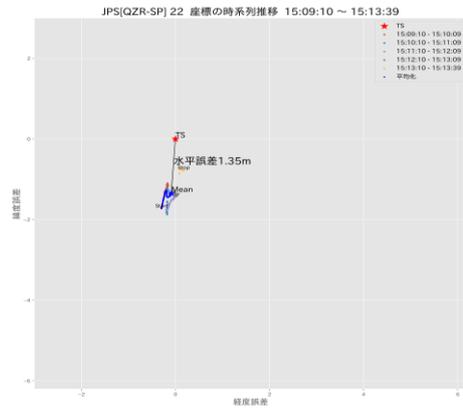
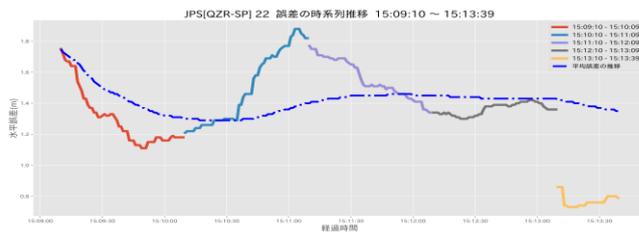
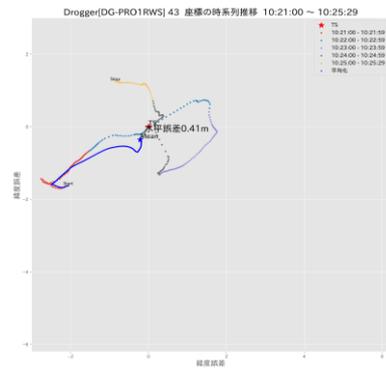
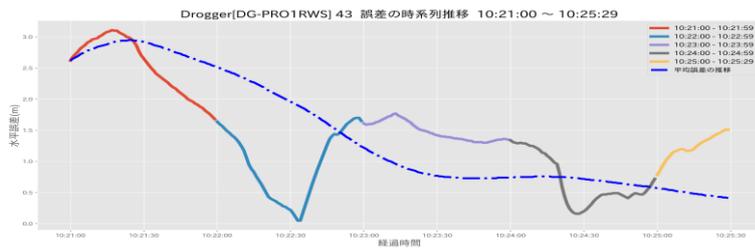


図 3.2.15 尾根中腹・南向 (測点 22) における座標値の変化

(5) 中腹 暖斜面 (測点 43)

【2周波 GNSS】

平均座標の水平誤差 0.42m



【CLAS 対応 GNSS】

平均座標の水平誤差 0.22m

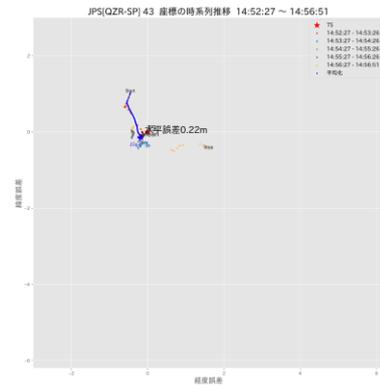
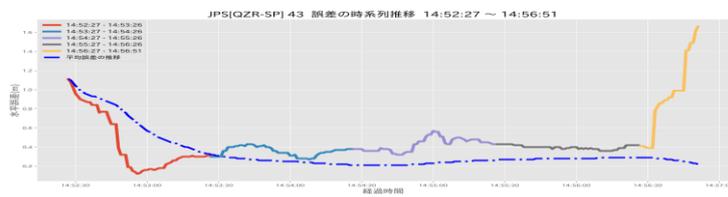


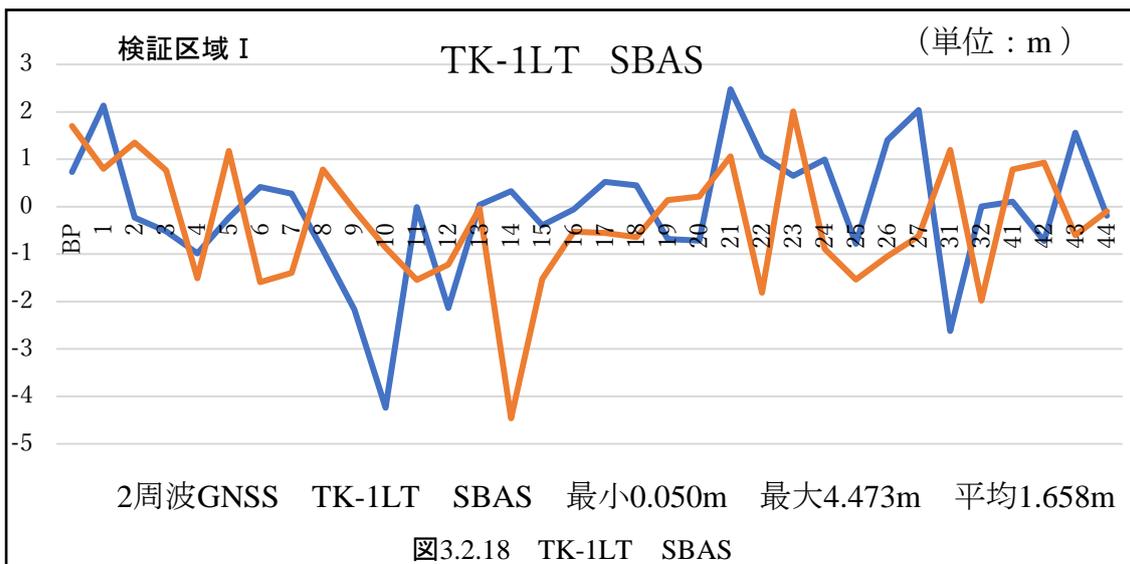
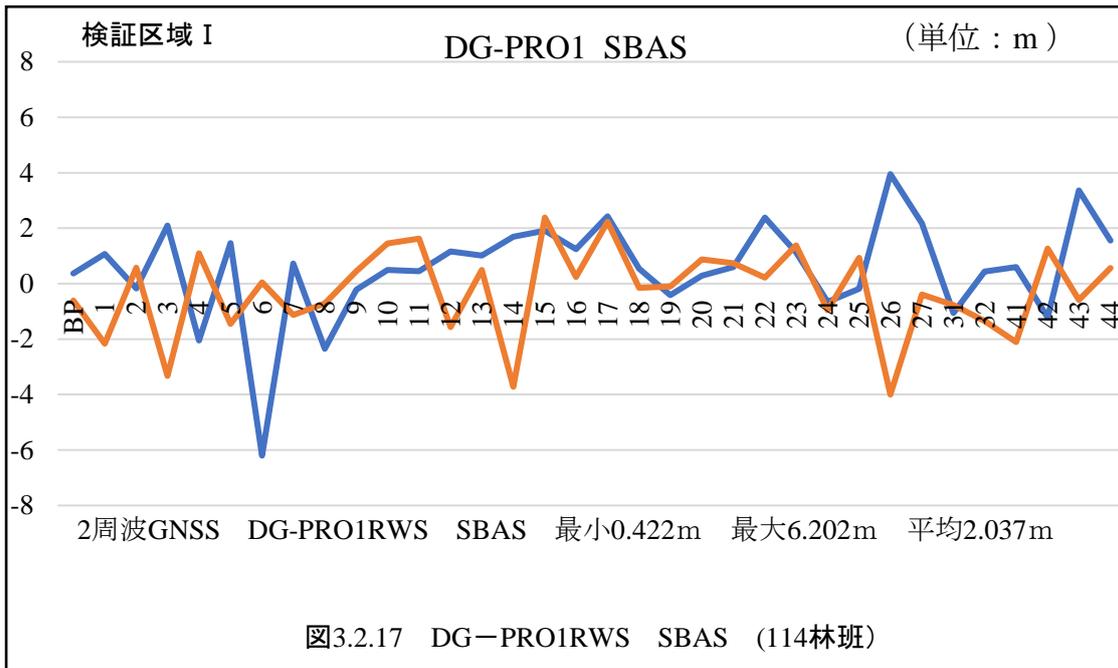
図 3.2.16 中腹 緩斜面 (測点 43) における座標値の変化

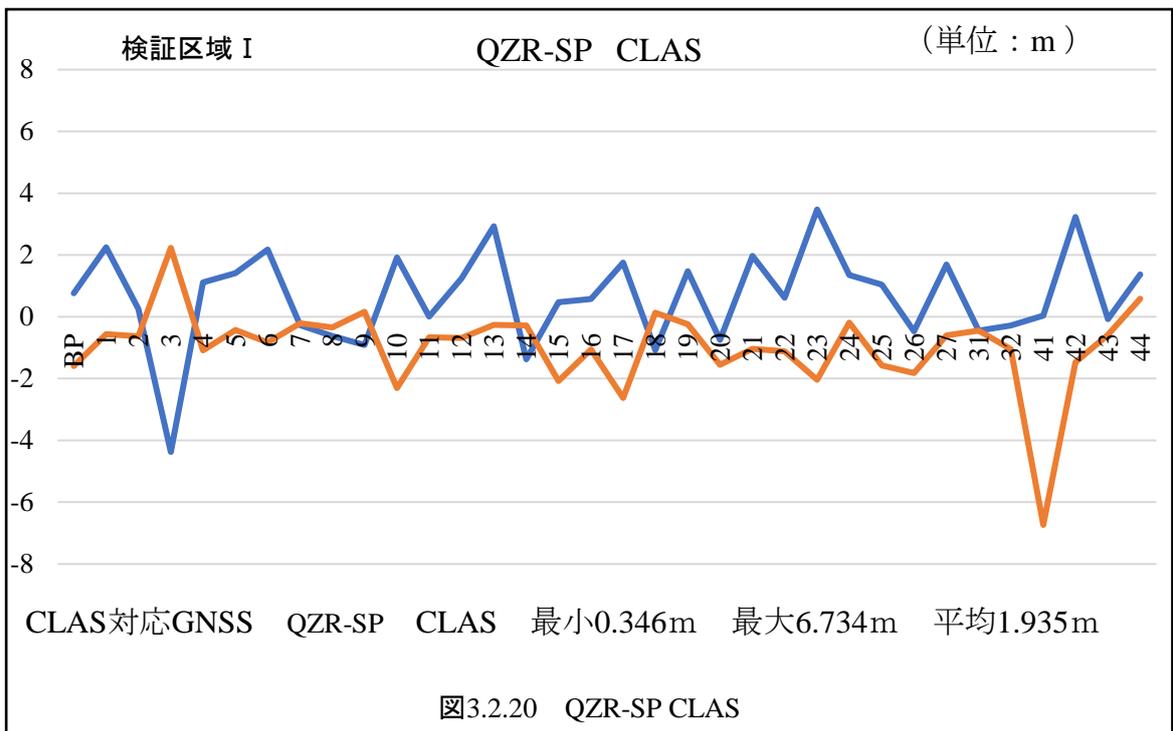
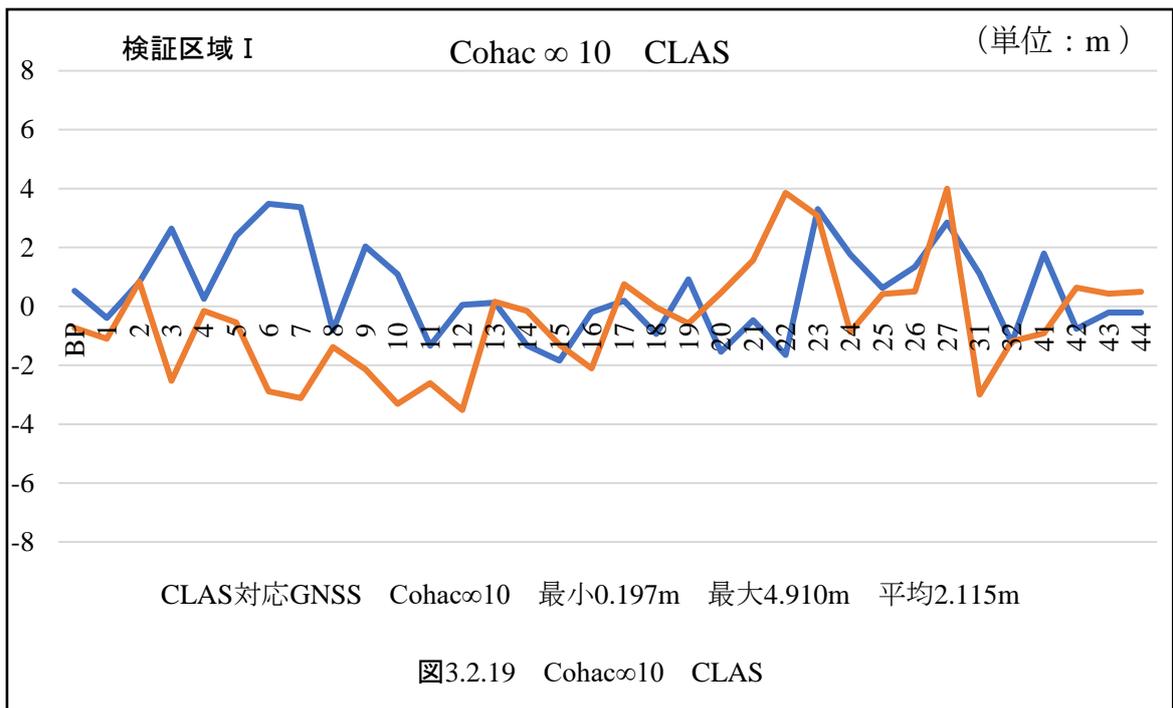
巻末資料（４）全測点における水平誤差

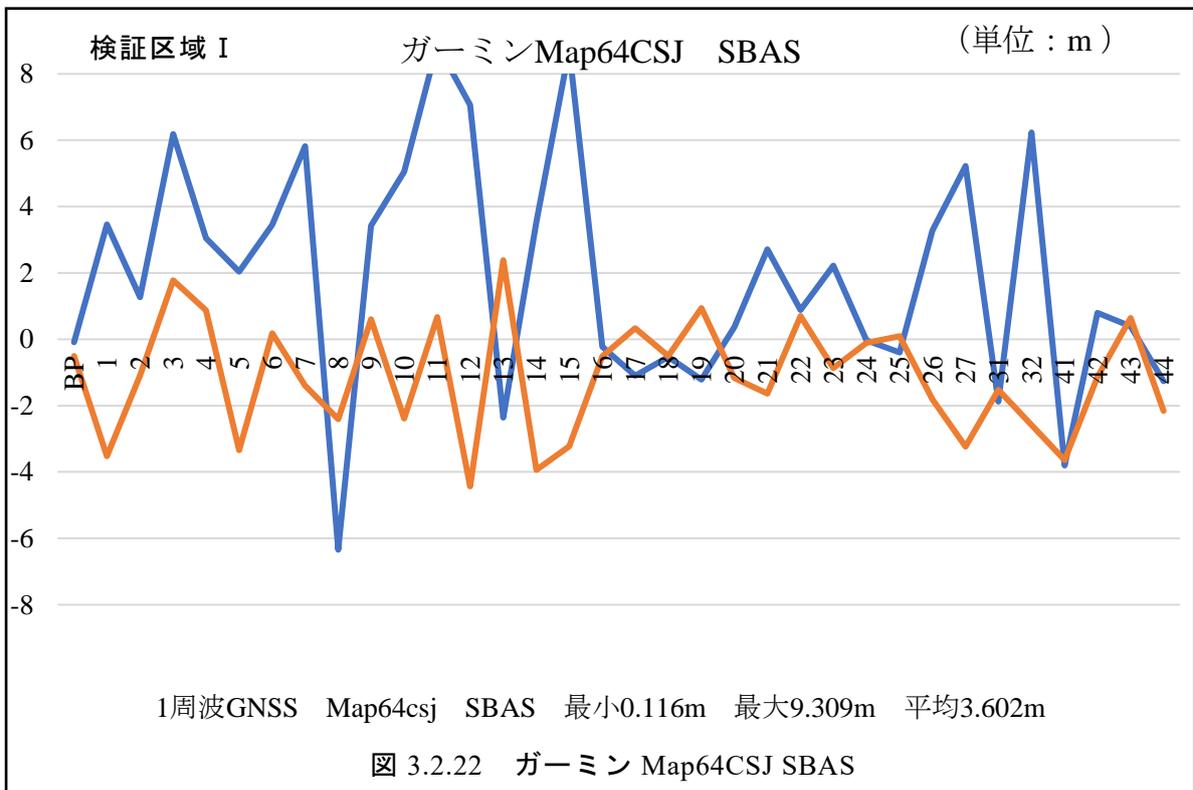
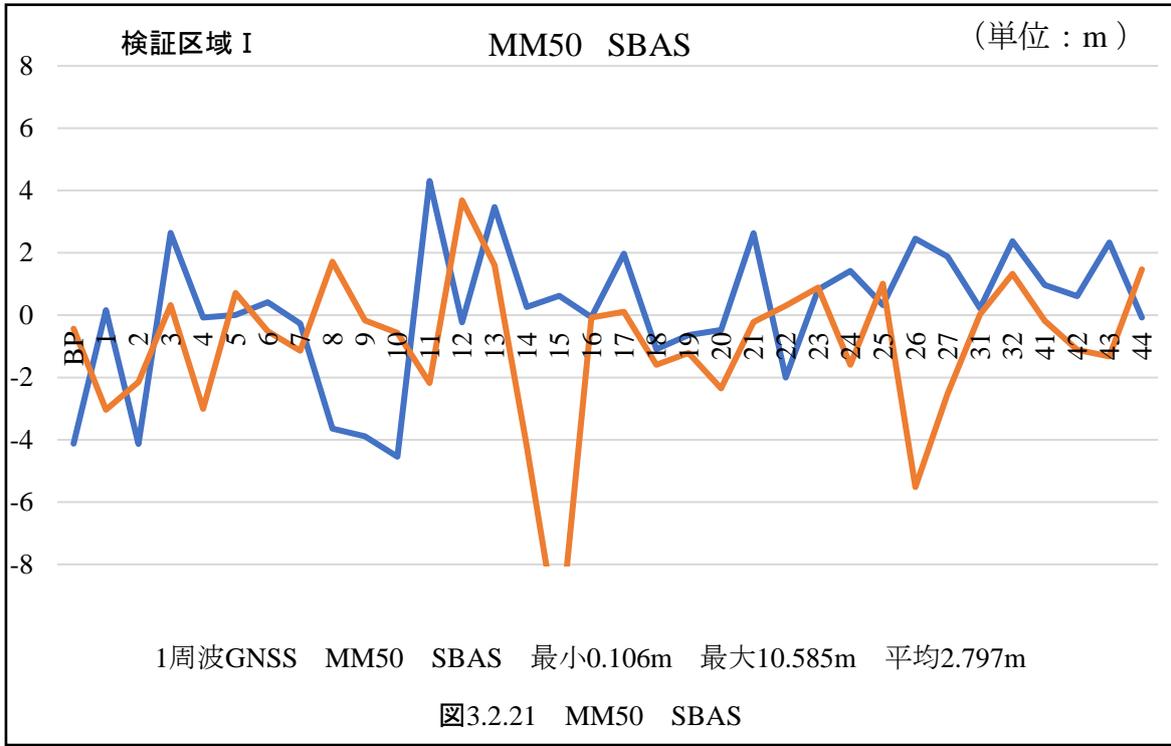
（１）単独測位・SBAS・CLAS

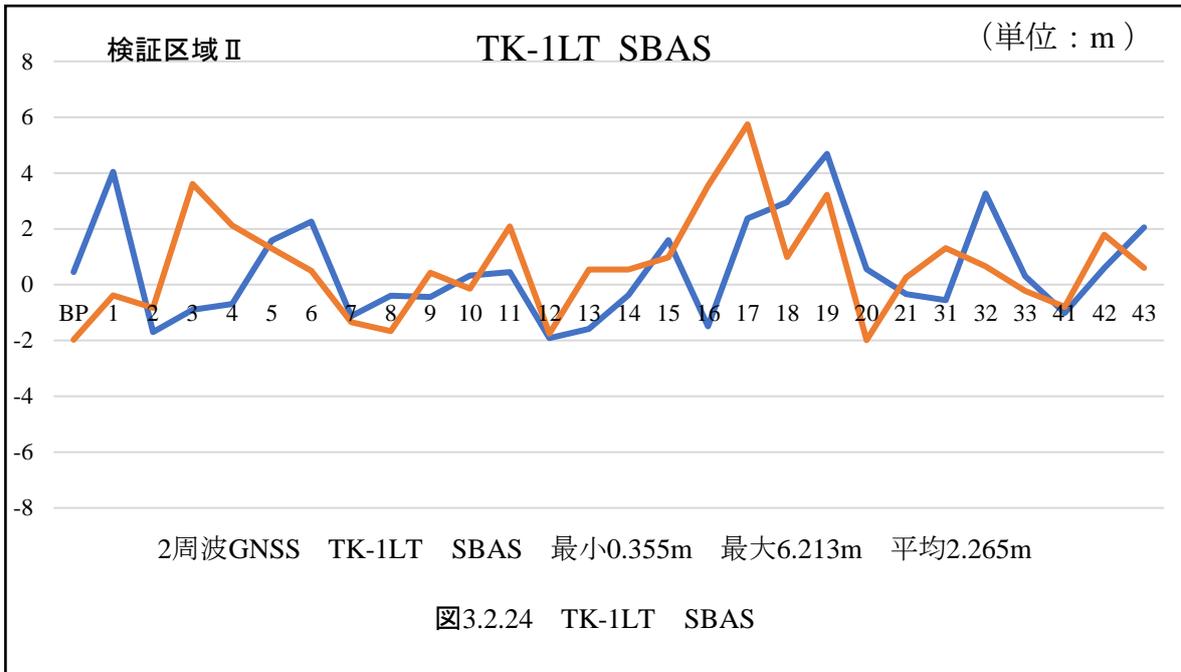
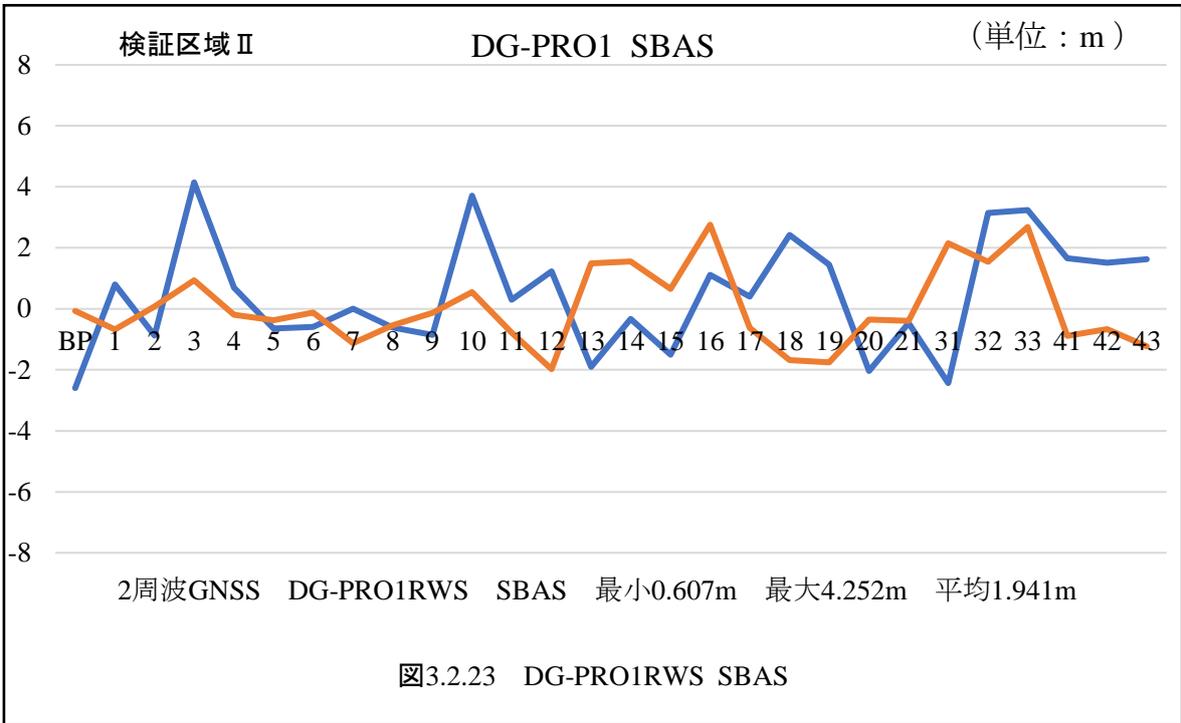
【計測方法】

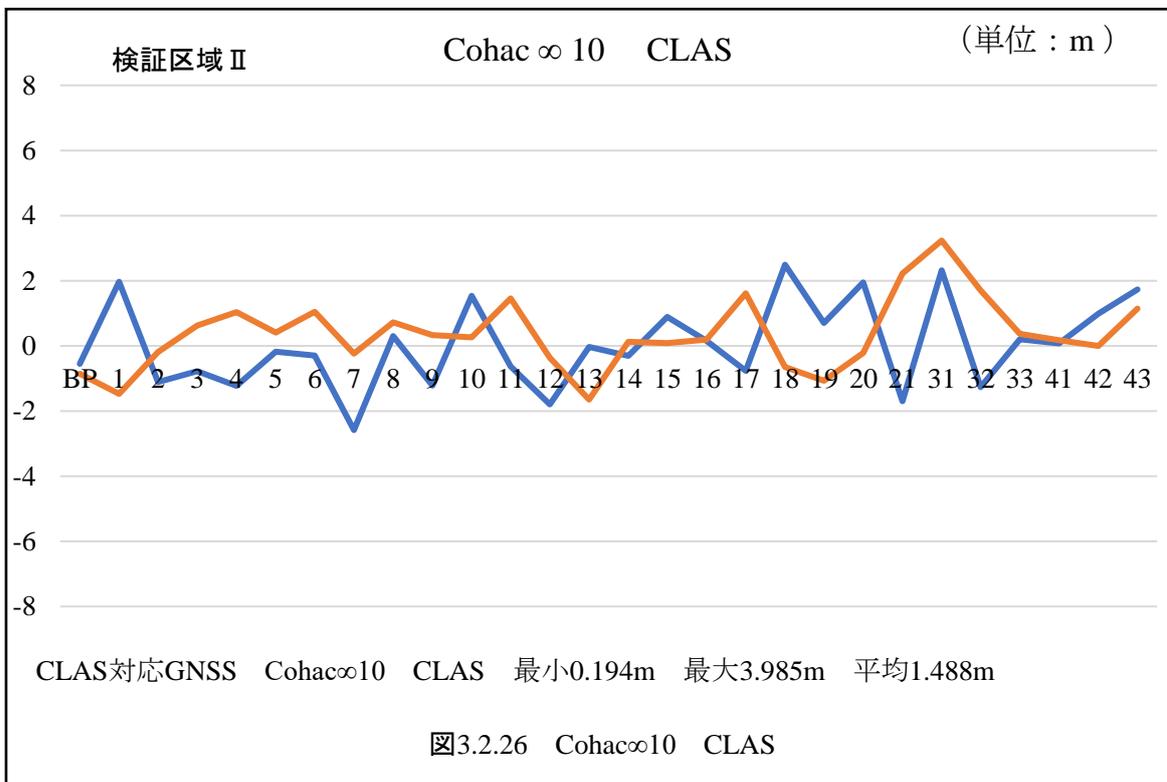
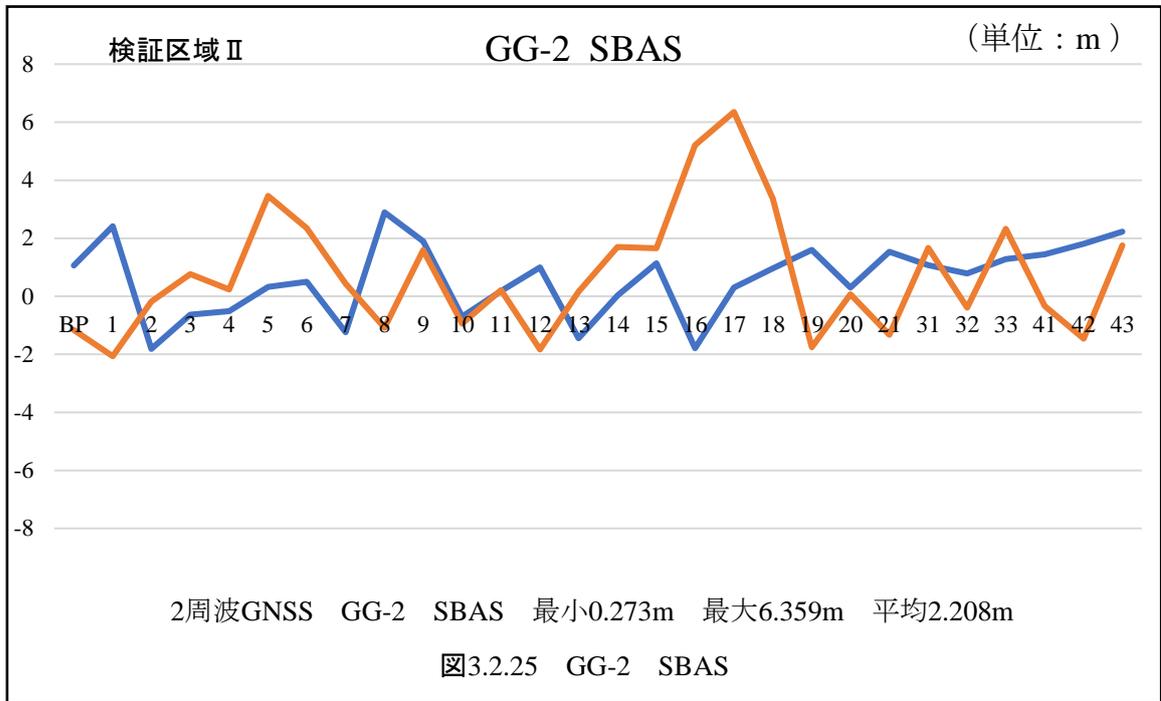
測点到着後1分ほど経過してから計測を開始、座標の揺れや指標値を確認しつつ計測（10回平均値を採用）した。

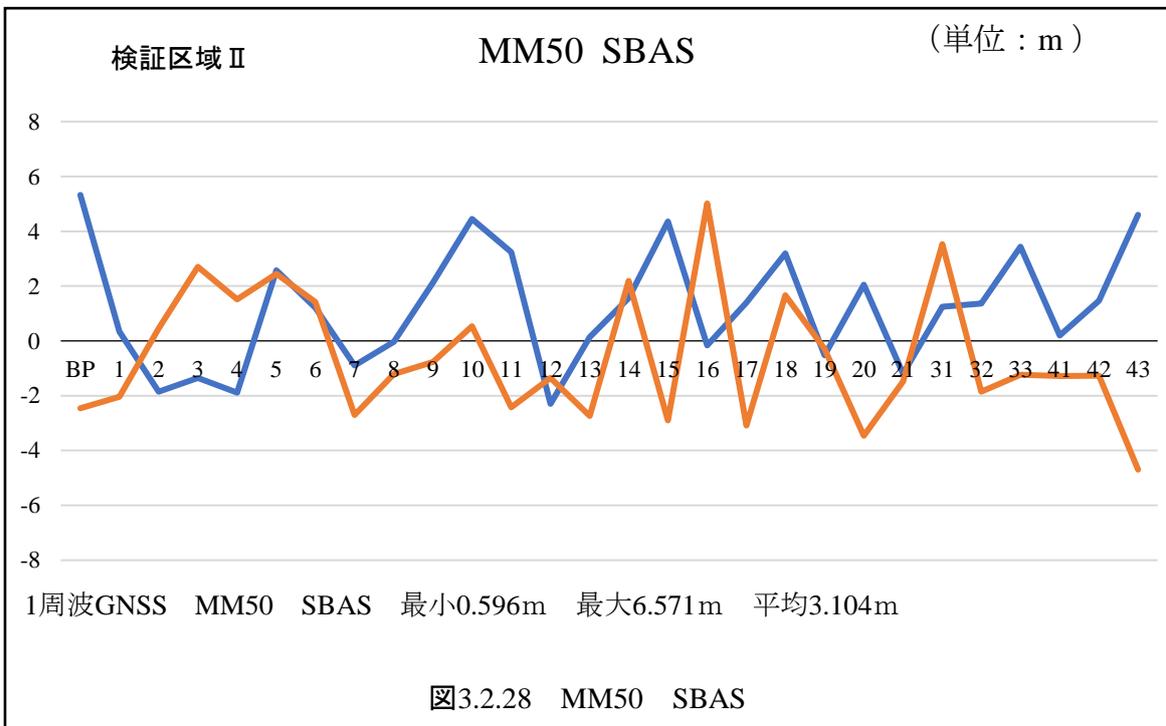
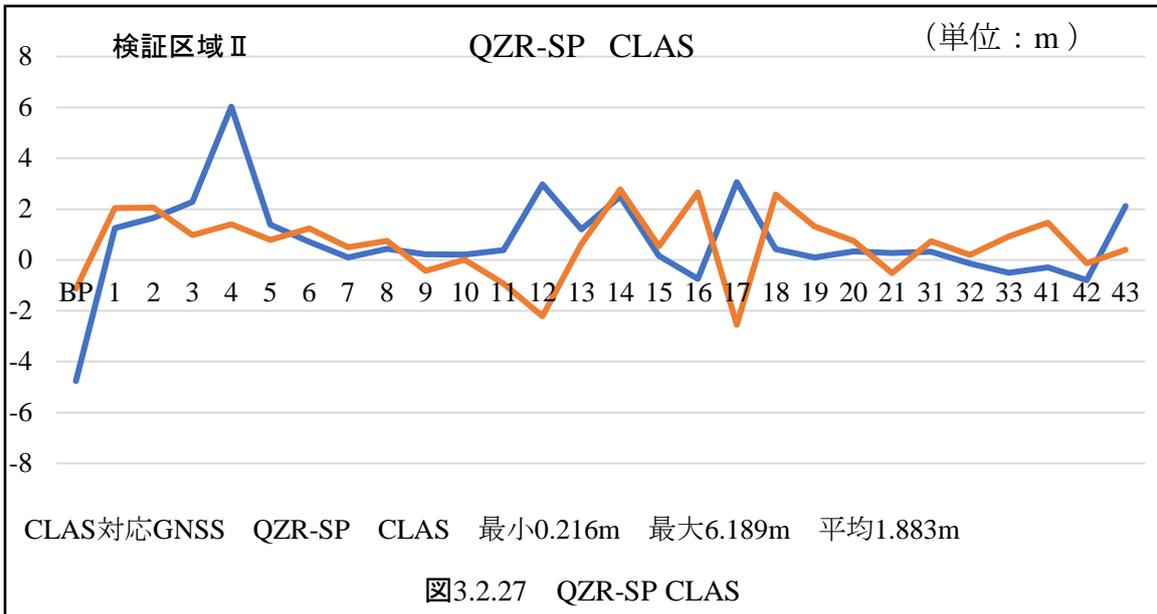


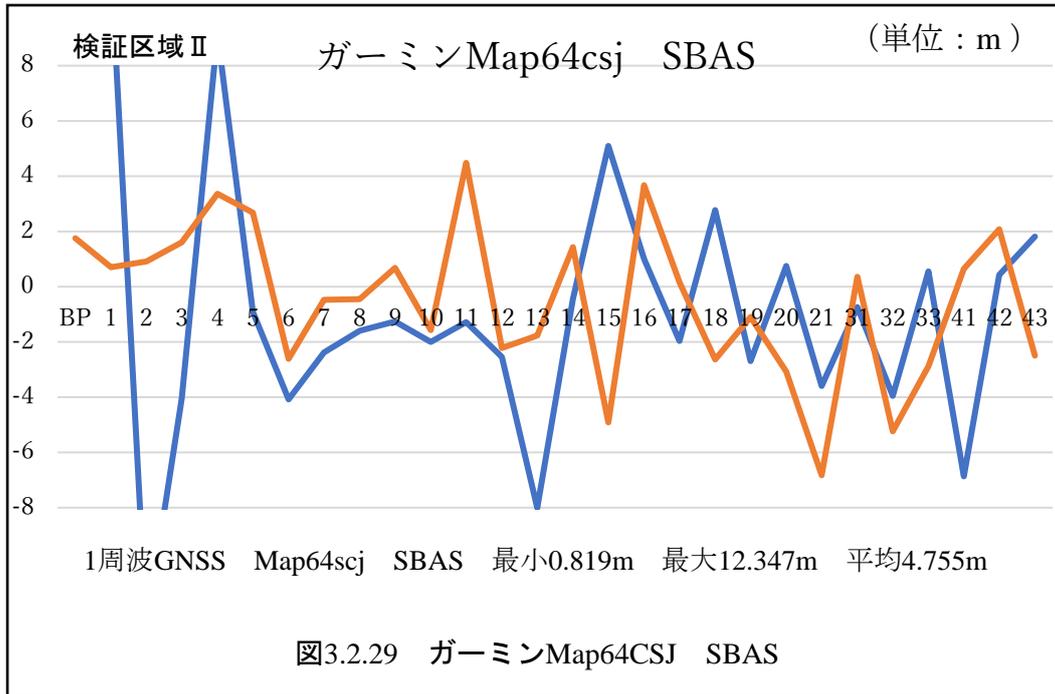








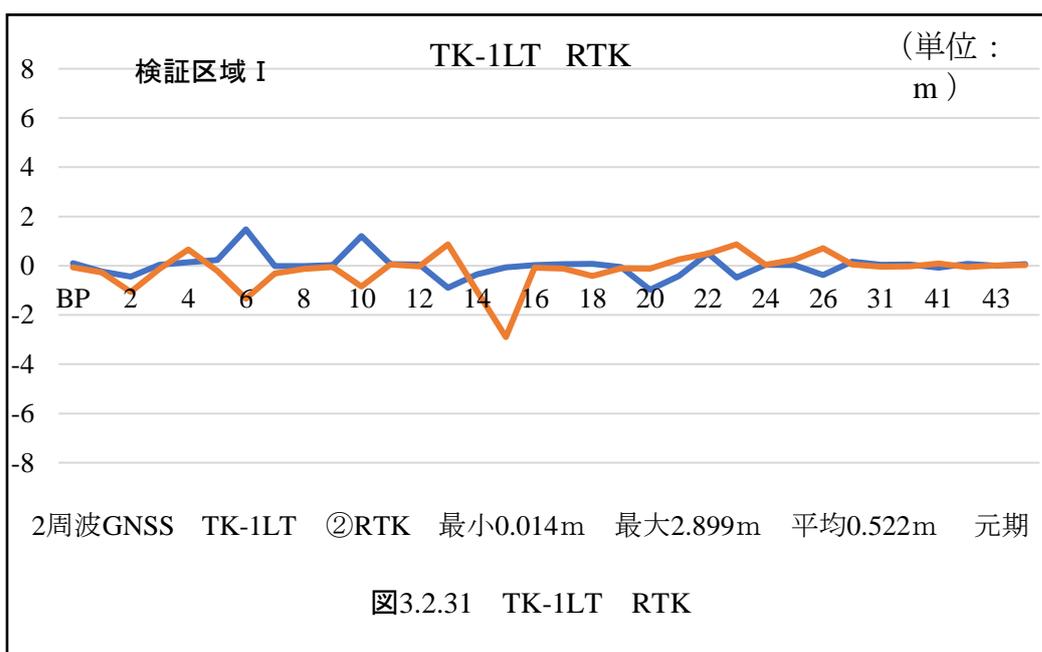
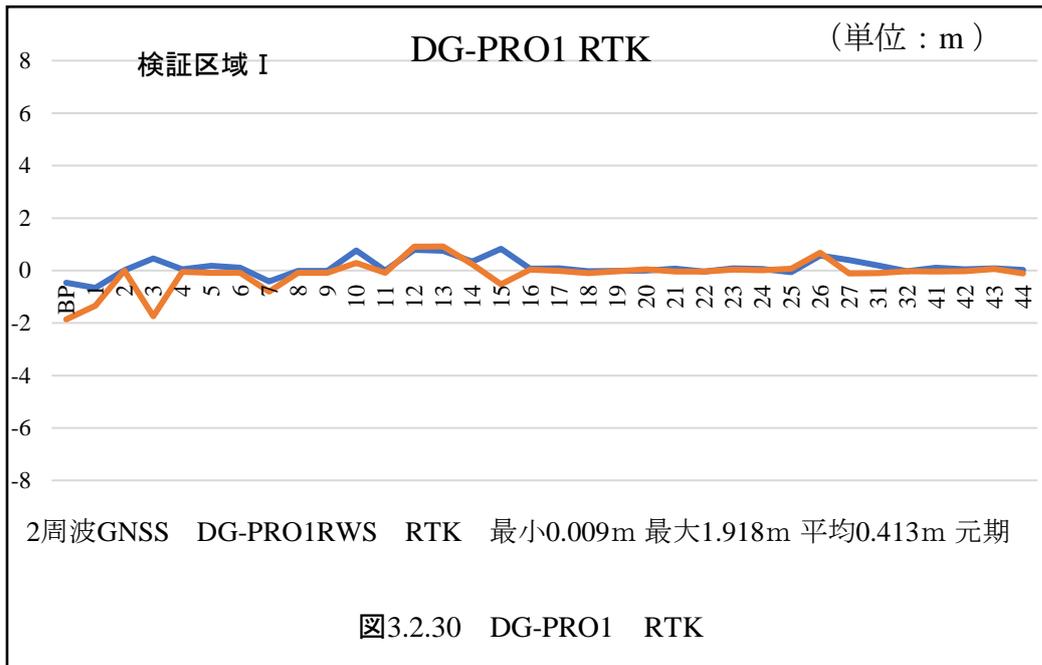


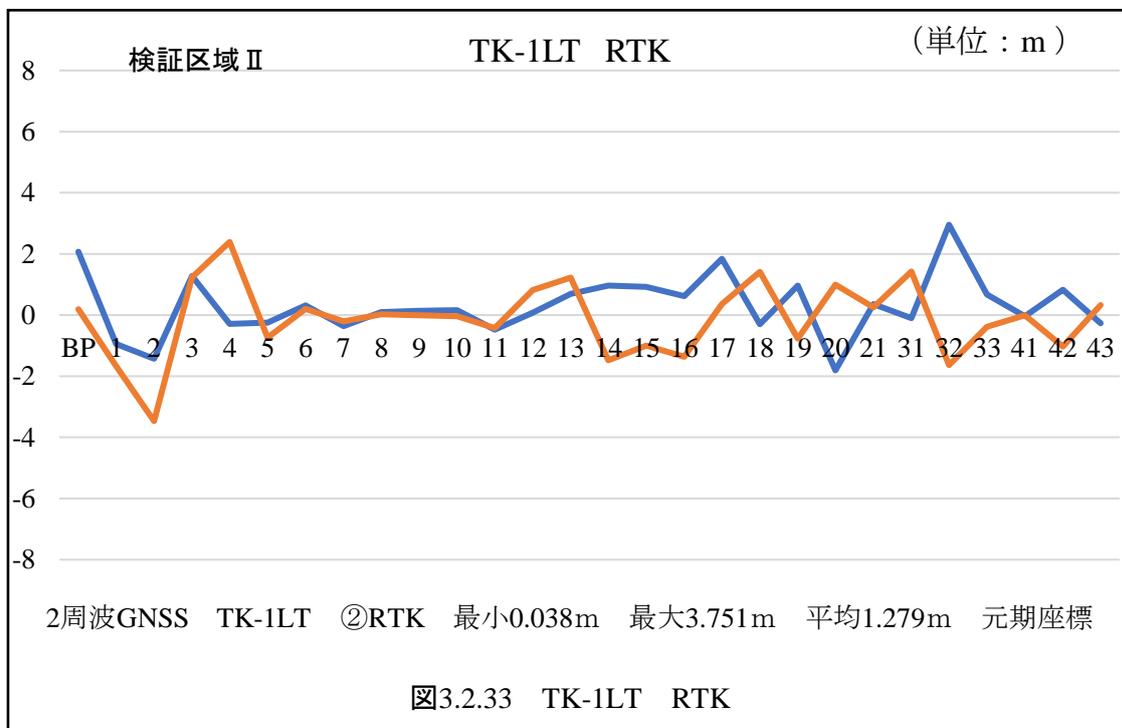
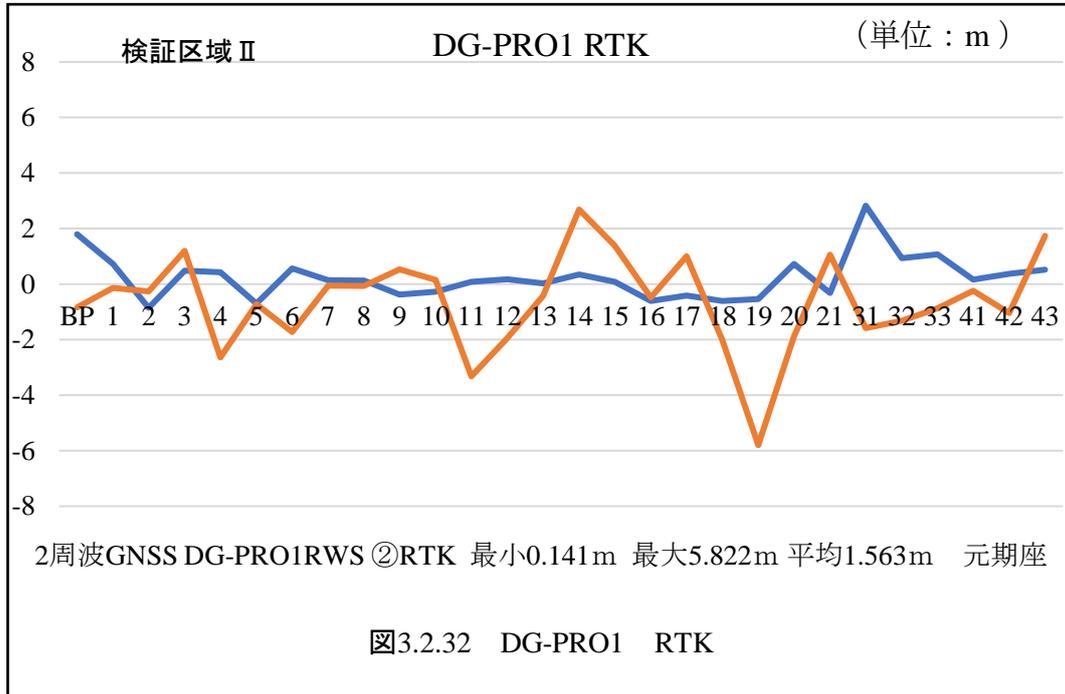


(2) ネットワーク型 RTK

【計測方法】

- ① 測点到着後1分ほど経過してから計測を開始、座標の揺れや指標値を確認しつつ計測（10回平均値を採用）した。
- ② ネットワーク型 RTK は、携帯電話会社の高精度位置情報サービスによる電子基準点データ（元期座標）からの補正情報をインターネットを通じて利用しながら測位を実施した。

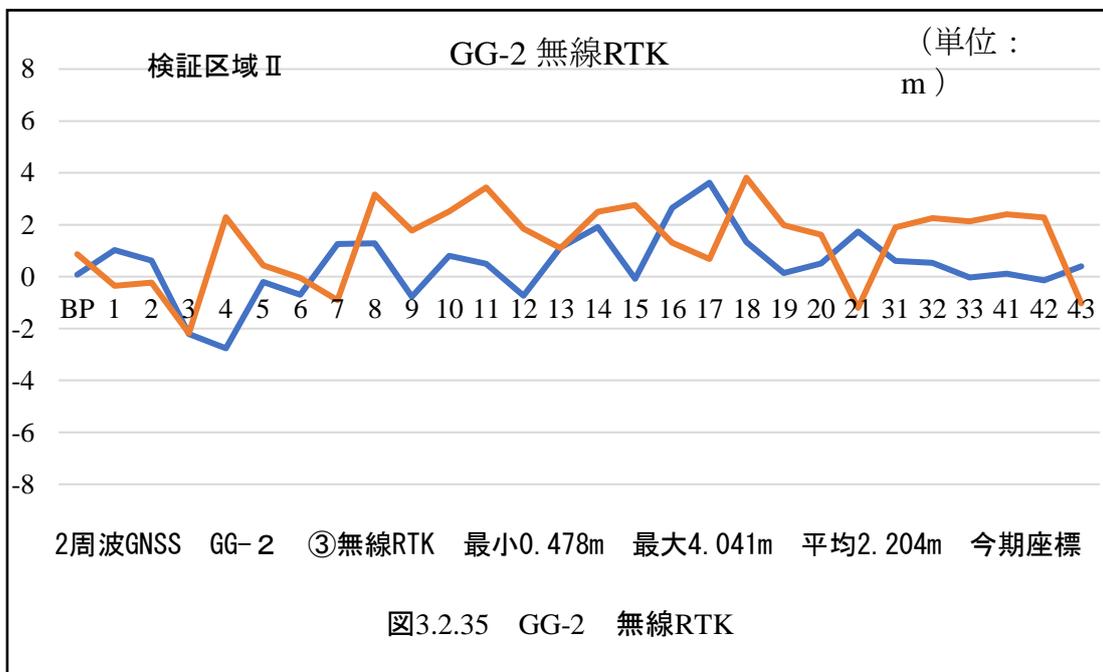
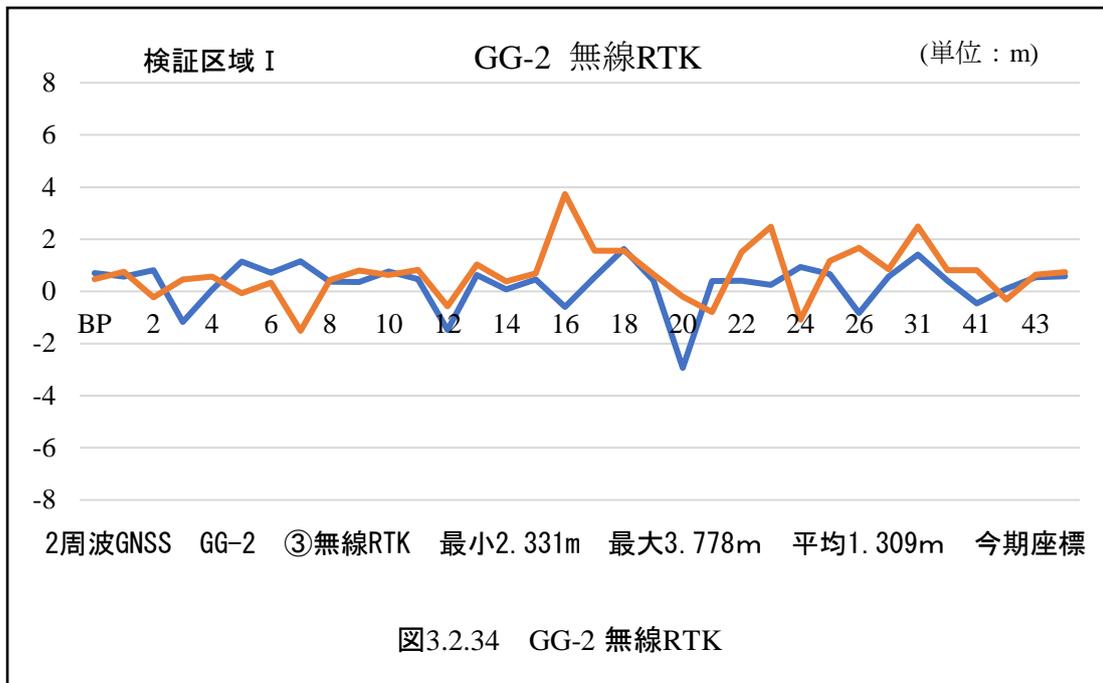




(3) 無線 RTK

【計測方法】

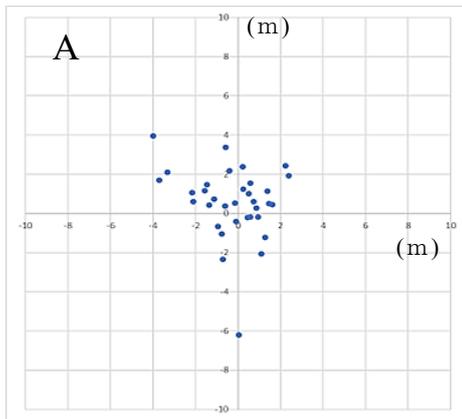
無線 RTK は、現地に基準局を置き、単独測位・SBAS で計測した今期座標を基準座標とした。移動局は無線で基準局と通信して RTK 測位を実施した。



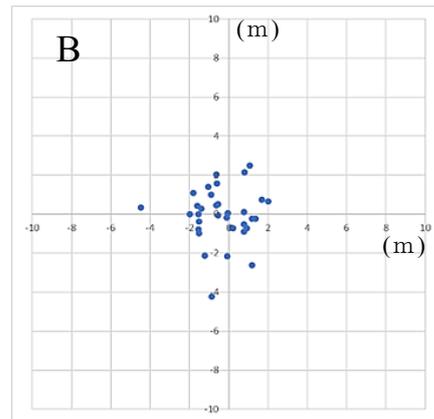
巻末資料（５）機種別・測位方式別の測位誤差の分布

以下、それぞれの検証区域における全測点のトータルステーション計測座標値（今期座標に変換）を 0 とし GNSS 計測の水平誤差を XY 座標（単位：m）で表したグラフを示す。

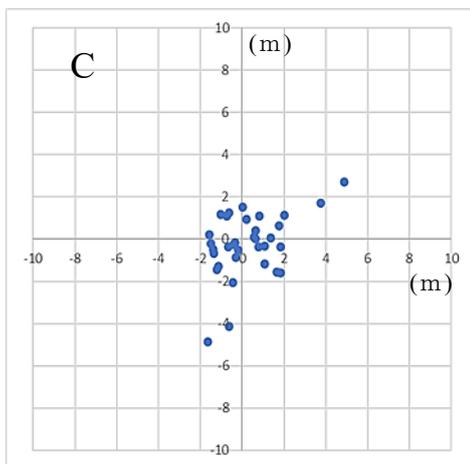
（１）検証区域 I（34 測点） 【図 3.2-36】



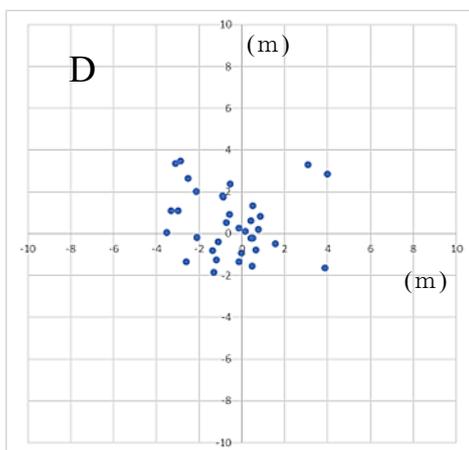
DG-PRO1RWS 単独・SBAS



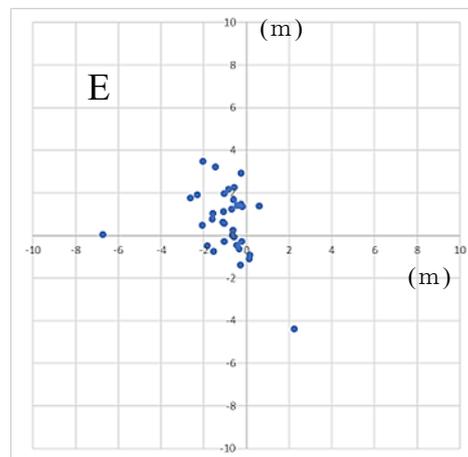
TK-1LT 単独・SBAS



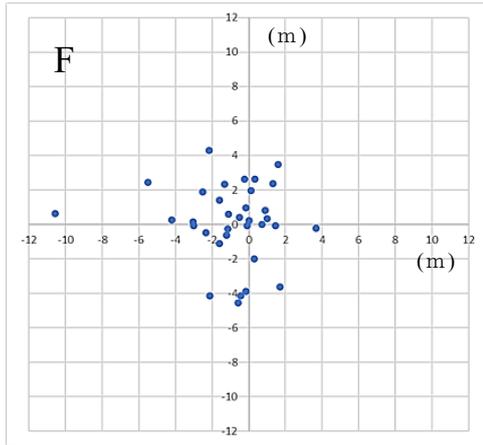
GG-2 単独・SBAS



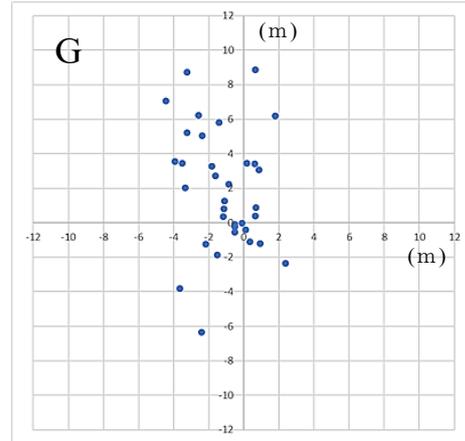
Cohac ∞10 単独～CLAS



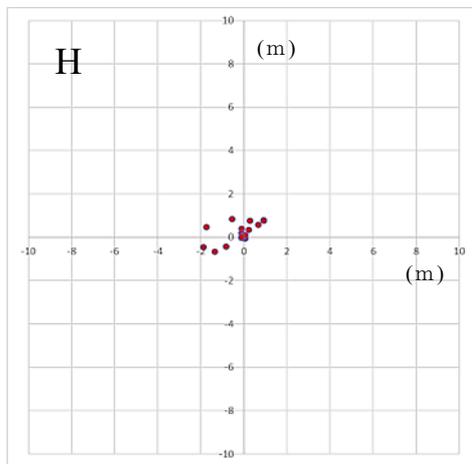
QZR-SP 単独～CLAS



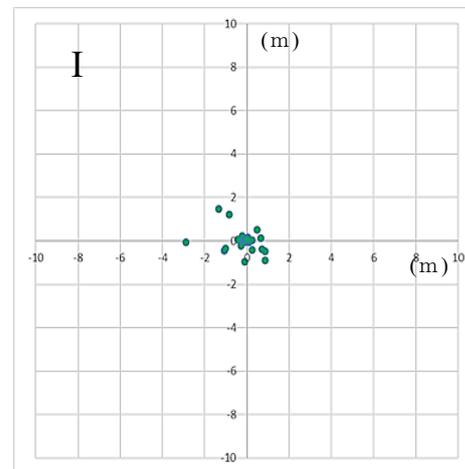
比較用 MM-50



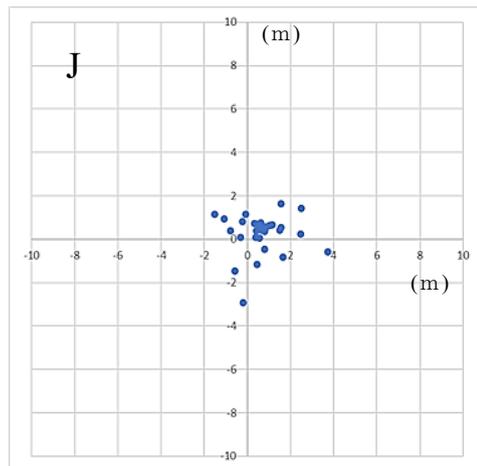
比較用 Map64csj



DG-PRO1RWS RTK

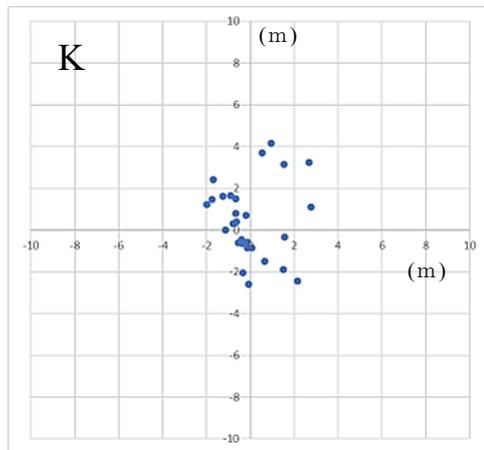


TK-1LT RTK

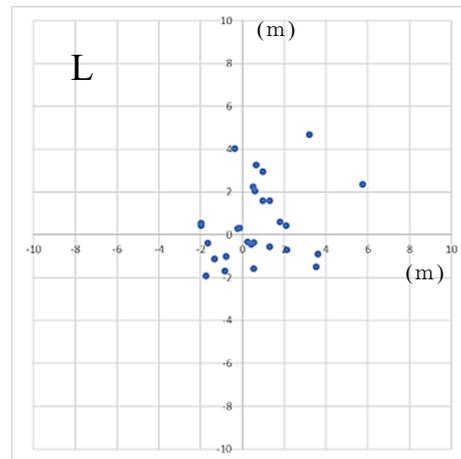


GG-2 無線RTK

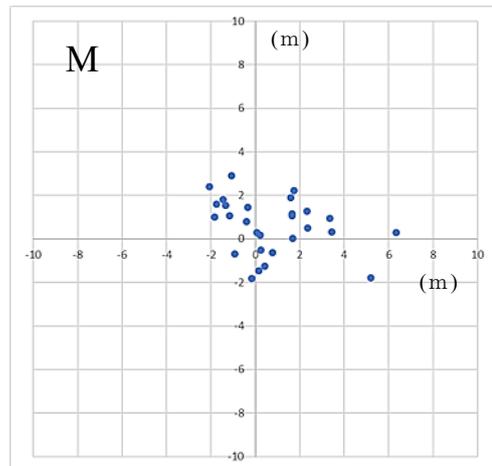
(2) 検証区域Ⅱ (28 測点) 【図 3.2.37】



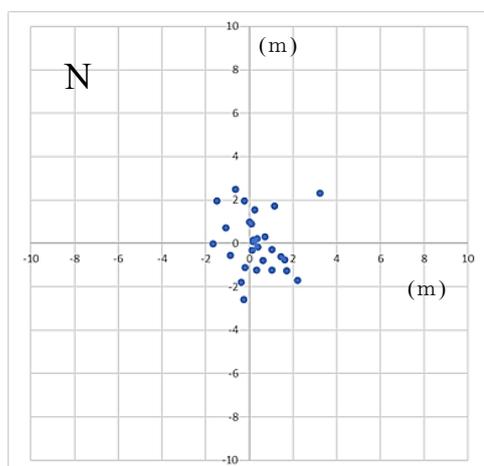
DG-PRO1RWS 単独・SBAS



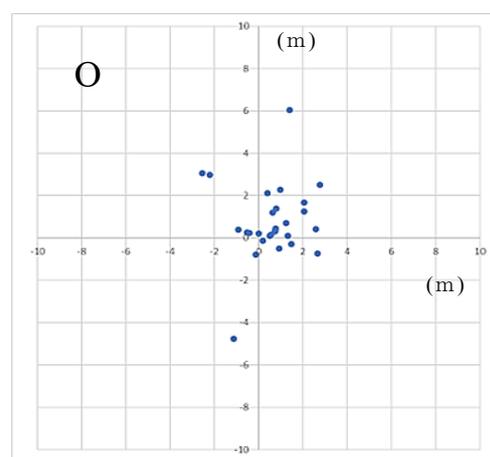
TK-1LT 単独・SBAS



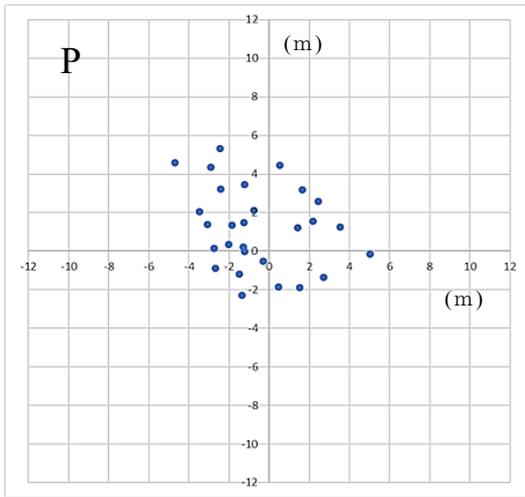
GG-2 単独・SBAS



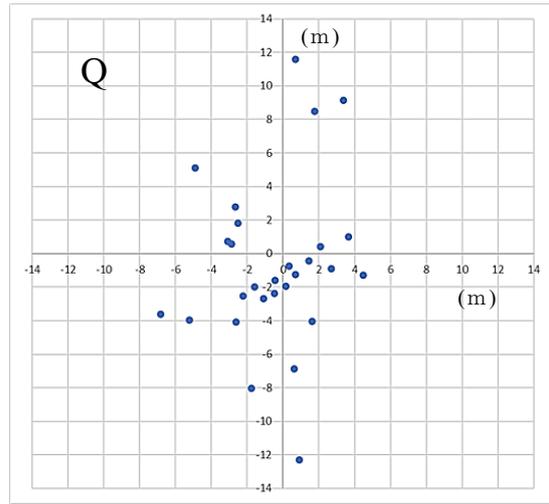
Cohac ∞ 10 単独~CLAS



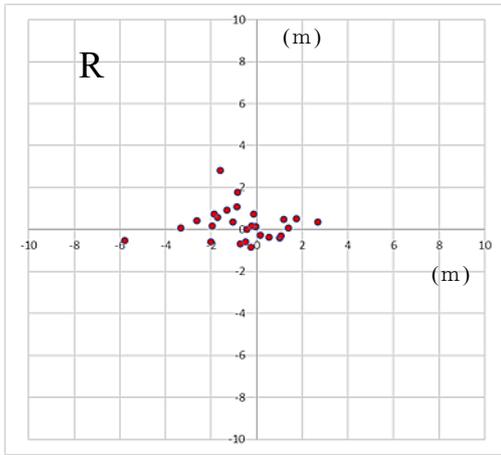
QZR-SP 単独~CLAS



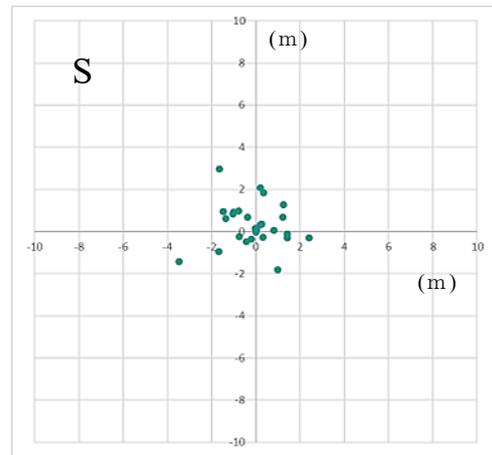
比較用 MM-50



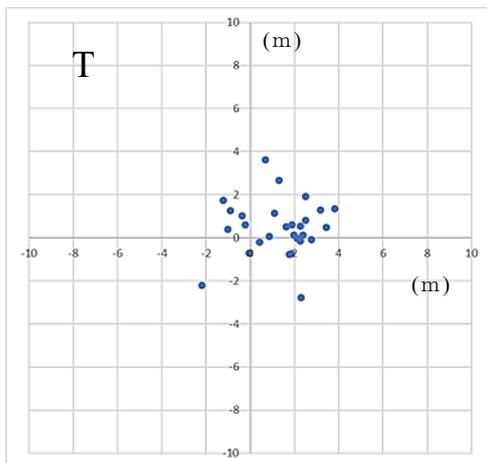
比較用 Map64csj



DG-PRO1 RTK



TK-1LT RTK



GG-2 無線RTK

巻末資料（6）機種別・測位方式別の面積精度の検証（区域対比図）

以下、それぞれの検証区域におけるトータルステーションの計測区域と GNSS 計測による計測区域の対比図を示す。

（1）単独測位・SBAS・CLAS

【計測方法】

測点到着後 1 分ほど経過してから計測を開始、座標の揺れや指標値を確認しつつ計測（10 回平均値を採用）した。

検証区域 I

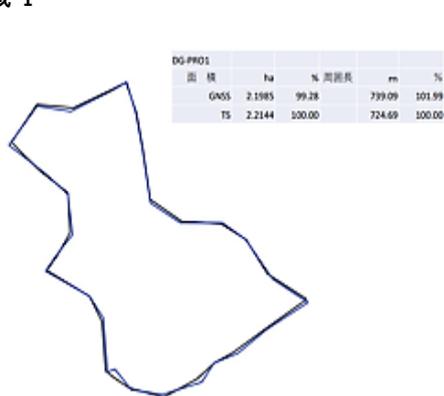


図 4.3.1 2 周波 GNSS DG-PRO1RWS 単独・SBAS（青）とトータルステーション測量（黒）の対比

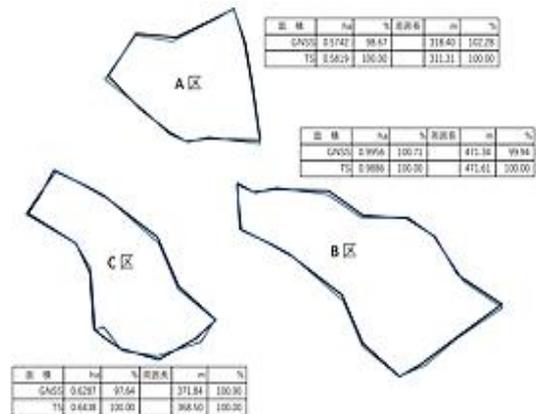


図 4.3.2 2 周波 GNSS DG-PRO1RWS 単独・SBAS（青）とトータルステーション測量（黒）の対比

検証区域 I



図 4.3.3 2 周波 GNSS TK-1LT 単独・SBAS（青）とトータルステーション測量（黒）の対比

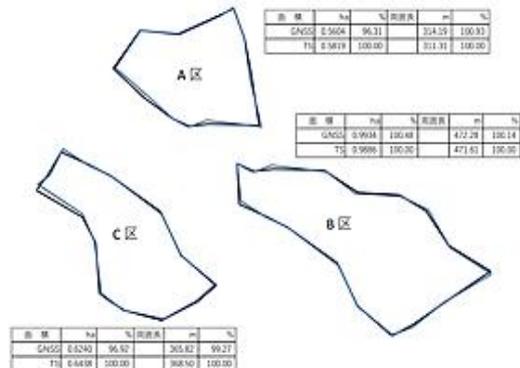


図 4.3.4 2 周波 GNSS TK-1LT 単独・SBAS（青）とトータルステーション測量（黒）の対比

検証区域 I

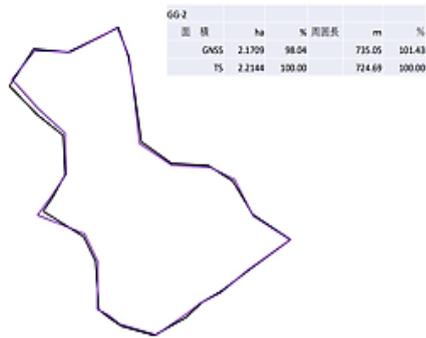


図 4.3.5 2 周波 GNSS GG-2 単独・SBAS (紫) とトータルステーション測量 (黒) の対比

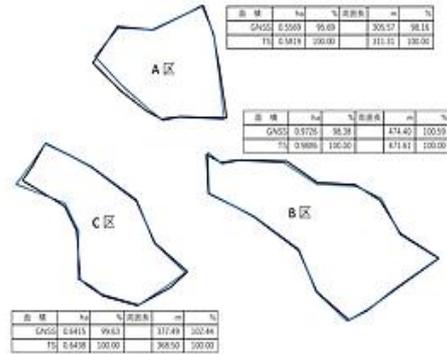


図 4.3.6 2 周波 GNSS GG-2 単独・SBAS (青) とトータルステーション測量 (黒) の対比

検証区域 I

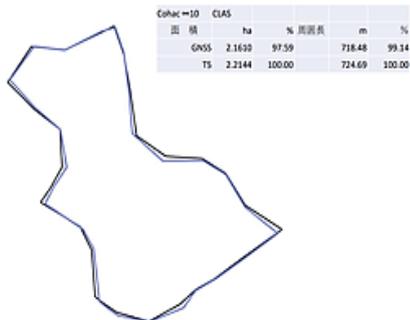


図 4.3.7 CLAS 対応 GNSS Cohac ∞ 10 CLAS (青) とトータルステーション測量 (黒) の対比

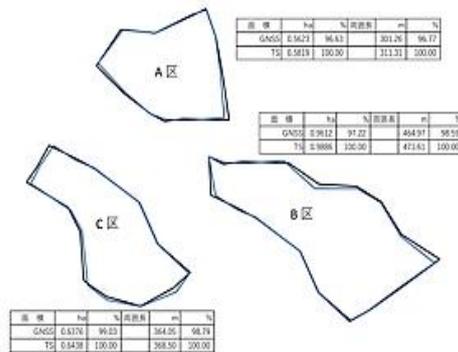


図 4.3.8 CLAS 対応 GNSS Cohac ∞ 10 CLAS (青) とトータルステーション測量 (黒) の対比

検証区域 I

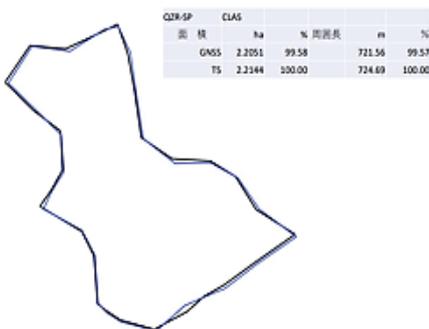


図 4.3.9 CLAS 対応 GNSS QZR-SP CLAS (青) とトータルステーション測量 (黒) の対比

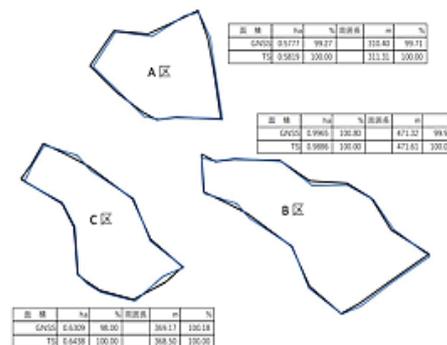


図 4.3.10 CLAS 対応 GNSS QZR-SP CLAS (青) とトータルステーション測量 (黒) の対比

検証区域 I

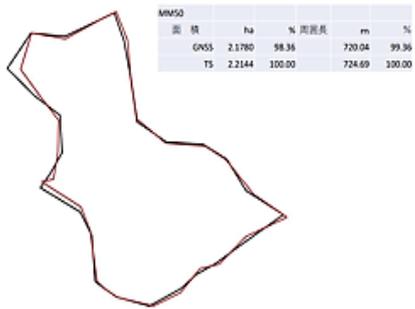


図 4.3.11 1 周波 GNSS MM50 (赤茶) とトータルステーション測量 (黒) の対比

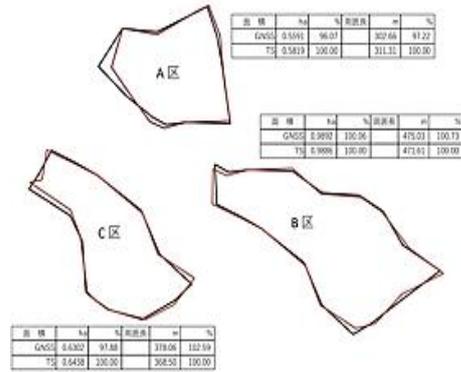


図 4.3.12 1 周波 GNSS MM50 (赤茶) とトータルステーション測量 (黒) の対比

検証区域 I

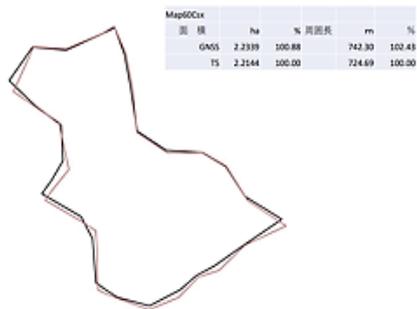


図 4.3.13 1 周波 GNSS ガーミン Map64scj(赤茶)とトータルステーション測量 (黒) の対比

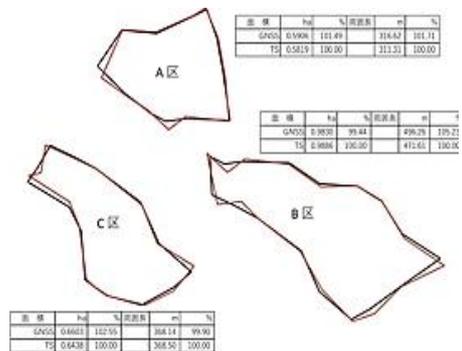


図 4.3.14 1 周波 GNSS ガーミン Map64scj (赤茶) とトータルステーション測量 (黒) の対比

検証区域 I

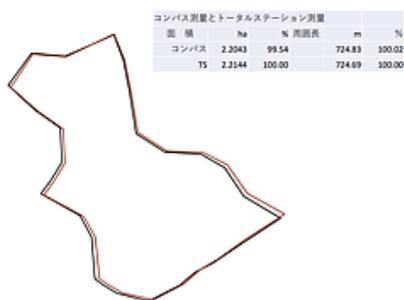


図 4.3.15 コンパス測量 (赤茶) トータルステーション測量 (黒) の対比

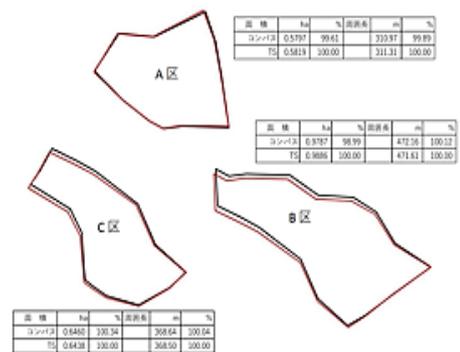


図 4.3.16 コンパス測量 (赤茶) とトータルステーション測量 (黒) の対比

検証区域Ⅱ

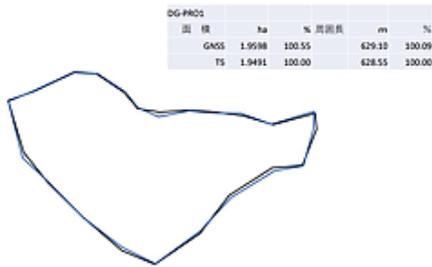


図 4.3.17 2 周波 GNSS DG-PRO1RWS 単独・SBAS (青) とトータルステーション測量 (黒) の対比

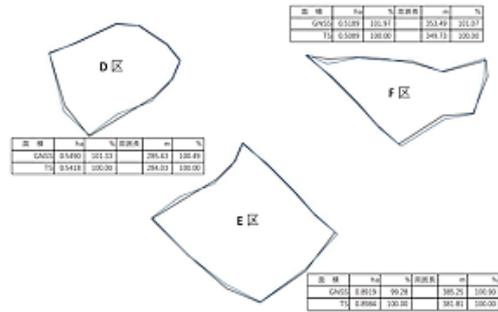


図 4.3.18 2 周波 GNSS DG-PRO1RWS 単独・SBAS (青) とトータルステーション測量 (黒) の対比

検証区域Ⅱ

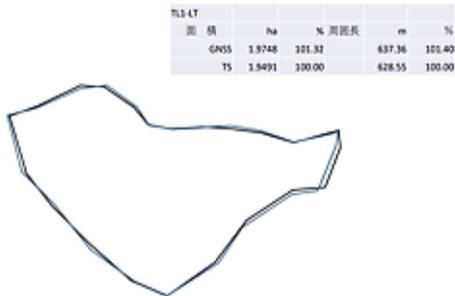


図 4.3.19 2 周波 GNSS TK-1LT 単独・SBAS (青) とトータルステーション測量 (黒) の対比

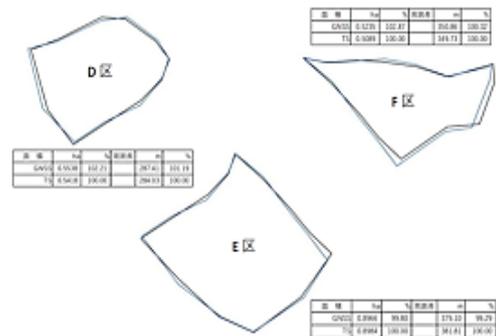


図 4.3.20 2 周波 GNSS TK-1LT 単独・SBAS (青) とトータルステーション測量 (黒) の対比

検証区域Ⅱ

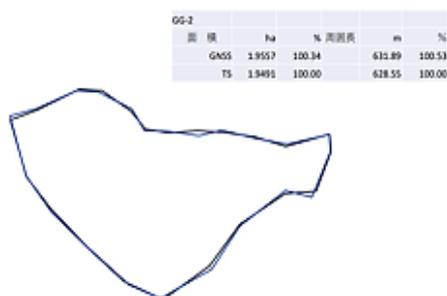


図 4.3.21 2 周波 GNSS GG-2 単独・SBAS (青) とトータルステーション測量 (黒) の対比

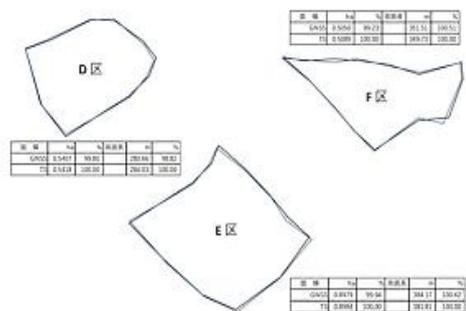


図 4.3.23 2 周波 GNSS GG-2 単独・SBAS (青) とトータルステーション測量 (黒) の対比

検証区域Ⅱ

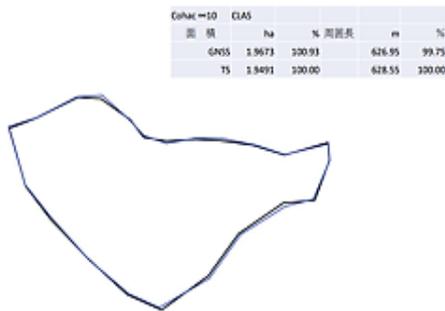


図 4.3.24 CLAS 対応 GNSS Cohac ∞ 10 CLAS (青) とトータルステーション測量 (黒) の対比

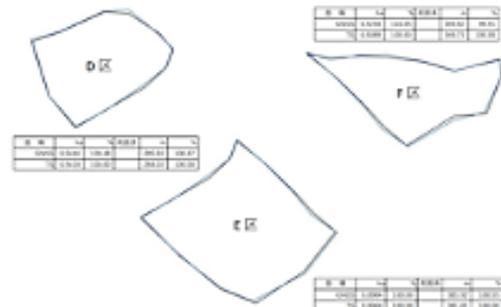


図 4.3.25 CLAS 対応 GNSS Cohac ∞ 10 CLAS (青) とトータルステーション測量 (黒) の対比

検証区域Ⅱ

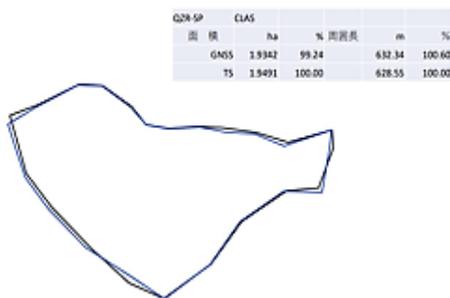


図 4.3.26 CLAS 対応 GNSS QZR-SP CLAS (青) とトータルステーション測量 (黒) の対比

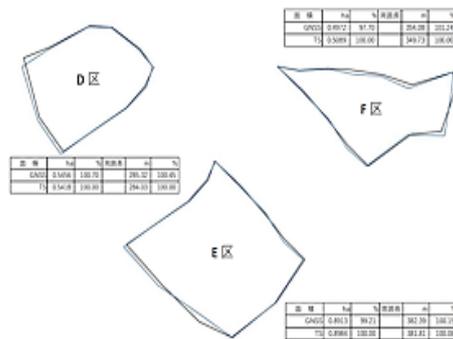


図 4.3.27 CLAS 対応 GNSS QZR-SP CLAS (青) とトータルステーション測量 (黒) の対比

検証区域Ⅱ

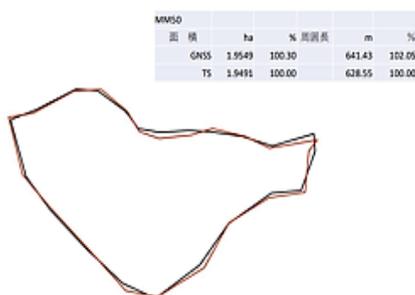


図 4.3.28 1周波 GNSS MM50 (茶) とトータルステーション測量 (黒) の対比

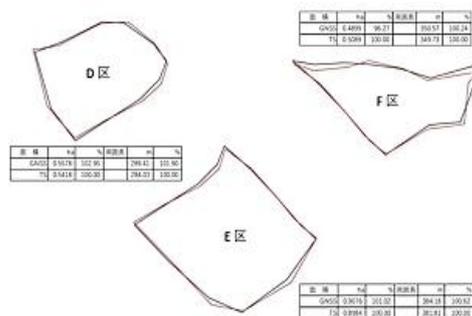


図 4.3.29 1周波 GNSS MM50 (赤茶) とトータルステーション測量 (黒) の対比

検証区域Ⅱ

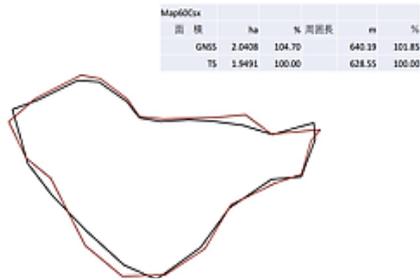


図 4.3.30 1周波 GNSS ガーミン Map64scj (赤茶) とトータルステーション測量 (黒) の対比

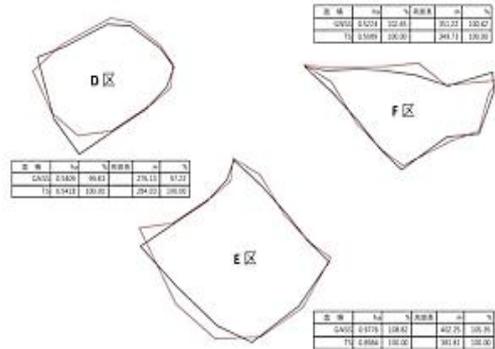


図 4.3.31 1周波 GNSS ガーミン Map64scj (赤茶) とトータルステーション測量 (黒) の対比

検証区域Ⅱ



図 4.3.32 コンパス測量 (赤茶) とトータルステーション測量 (黒) の対比

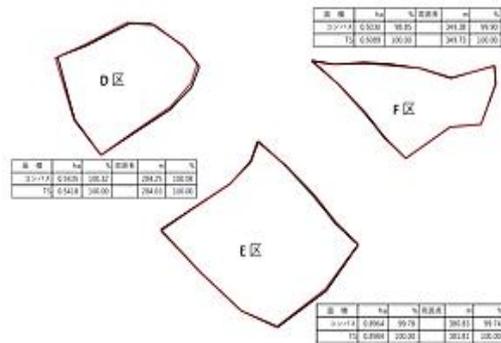


図 4.3.33 コンパス測量 (赤茶) とトータルステーション測量 (黒) の対比

(2) ネットワーク型 RTK

【計測方法】

- ① 測点到着後 1 分ほど経過してから計測を開始、座標の揺れや指標値を確認しつつ計測（10 回平均値を採用）した。
- ② ネットワーク型 RTK は、携帯電話会社の高精度位置情報サービスによる電子基準点データ（元期座標）をインターネットを通じて利用しながら測位を実施した。

検証区域 I

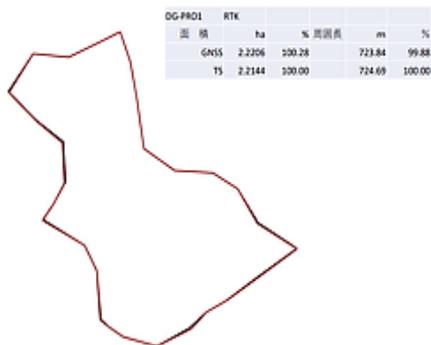


図 4.3.34 2 周波 GNSS DG-PRO1RWS RTK (赤) とトータルステーション測量 (黒) の対比

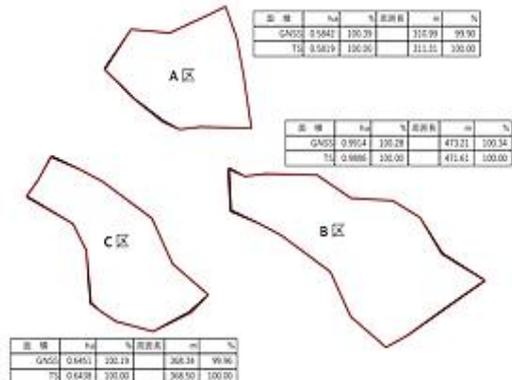


図 4.3.35 2 周波 GNSS DG-PRO1RWS RTK (赤) とトータルステーション測量 (黒) の対比

検証区域 I

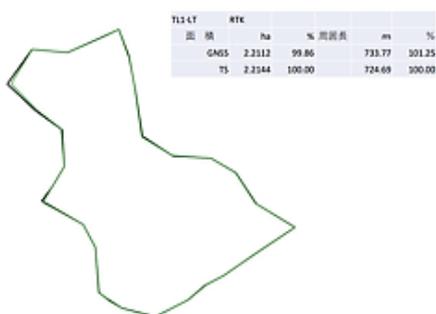


図 4.3.36 2 周波 GNSS TK-1LT RTK (緑) とトータルステーション測量 (黒) の対比

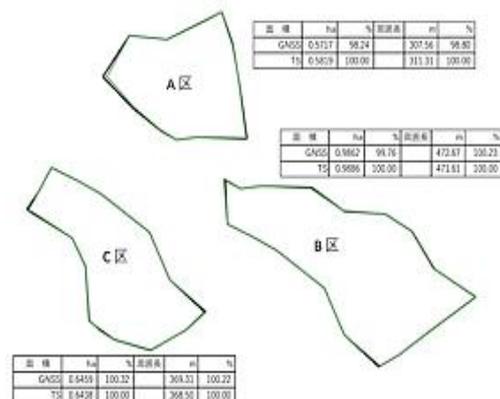


図 4.3.37 2 周波 GNSS TK-1LT RTK (緑) とトータルステーション測量 (黒) の対比

検証区域 I

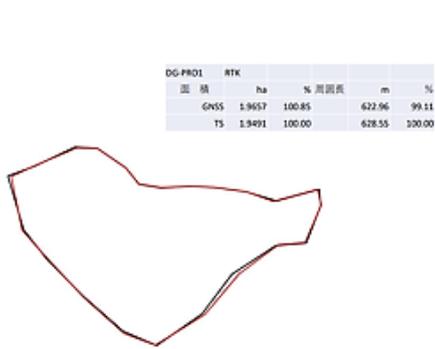


図 4.3.38 2 周波 GNSS DG-PRO1RWS RTK (赤) とトータルステーション測量 (黒) の対比

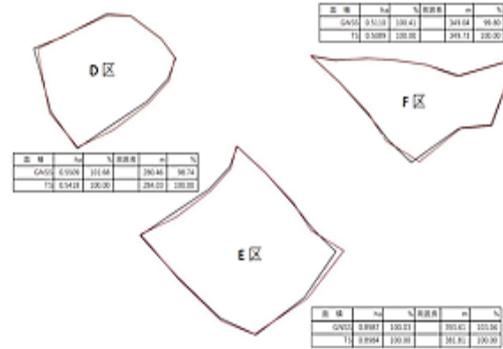


図 4.3.39 2 周波 GNSS DG-PRO1RWS RTK (赤) とトータルステーション測量 (黒) の対比

検証区域 II



図 4.3.40 2 周波 GNSS TK-1LT RTK (緑) とトータルステーション測量 (黒) の対比

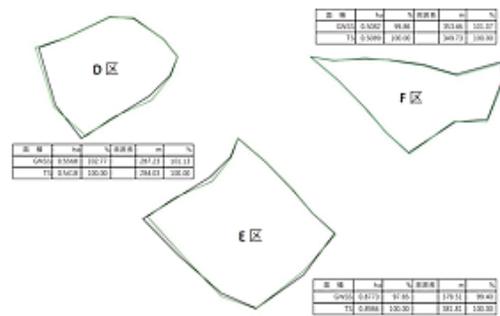


図 4.3.41 2 周波 GNSS TK-1LT RTK (緑) とトータルステーション測量 (黒) の対比

(3) 無線 RTK

【計測方法】

- ① 測点到着後 1 分ほど経過してから計測を開始、座標の揺れや指標値を確認しつつ計測（10 回平均値を採用）した。
- ② 無線 RTK は、現地に基準局を置き、単独測位・SBAS で計測した今期座標を基準座標とした。移動局は無線で基準局と通信して RTK 測位を実施した。

検証区域 I

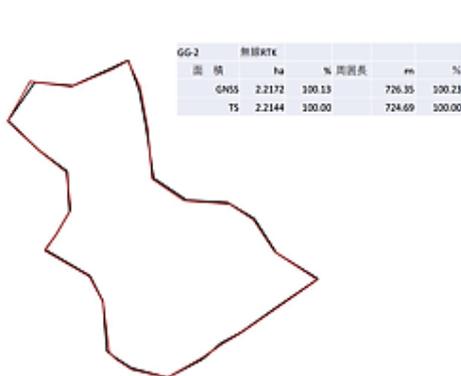


図 4.3.42 2 周波 GNSS GG-2 無線 RTK (赤) とトータルステーション測量 (黒) の対比

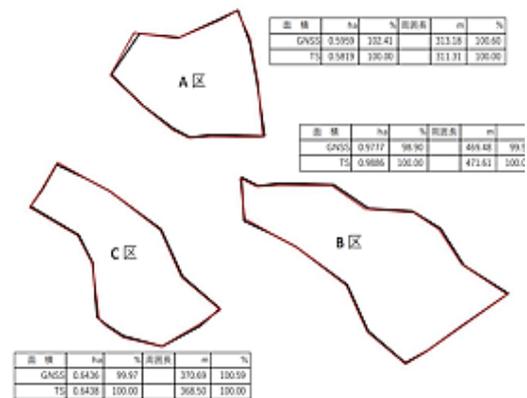


図 4.3.43 2 周波 GNSS GG-2 無線 RTK (赤) とトータルステーション測量 (黒) の対比

検証区域 II

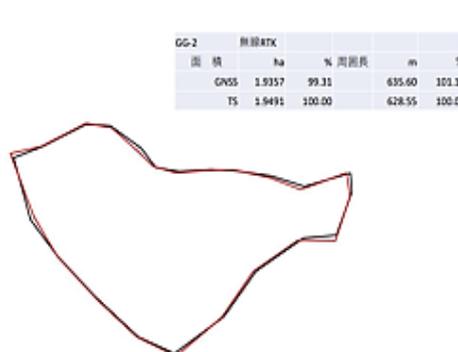


図 4.3.44 2 周波 GNSS GG-2 無線 RTK (赤) とトータルステーション測量 (黒) の対比

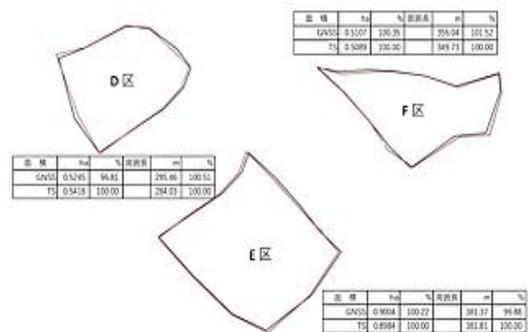


図 4.3.45 2 周波 GNSS GG-2 無線 RTK (赤) とトータルステーション測量 (黒) の対比

(参 考) 開空率や指標値と計測座標の水平誤差の関係

開空率や指標値を横軸にとり、計測座標の水平誤差を縦軸にとったグラフを参考まで添付する。計測された開空率や指標値の範囲が狭く、これらのデータだけでは相関は不明である。

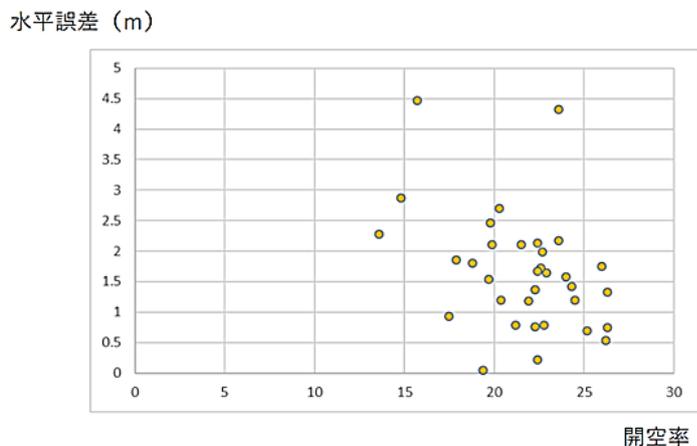


図 3.2.38 開空率と一座標の水平誤差との関係の例 (検証区域 I TK-1LT 計測例)

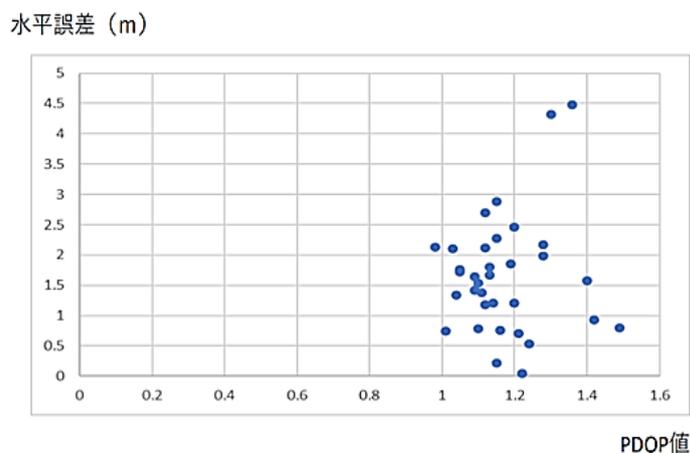


図 3.2.39 PDOP 値と位置座標の水平誤差との関係の例 (検証区域 II TK-1LT 計測例)

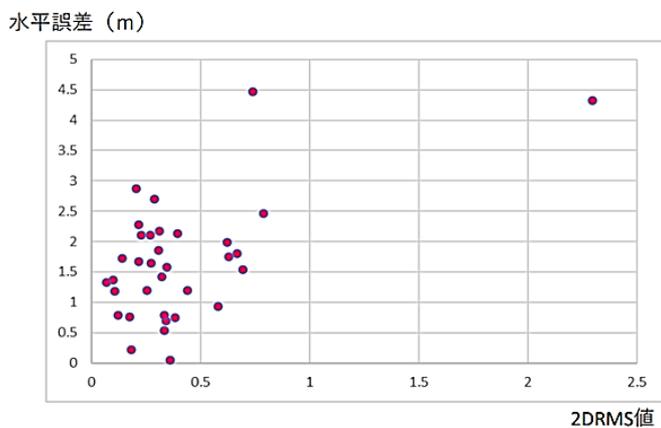


図 3.2.40 2DRMS 値と位置座標の水平誤差との関係の例 (検証区域 II TK-1LT 計測例)

令和4年度収穫調査へのリモートセンシング技術の導入検証等
委託事業報告書

令和5年3月

業務受託：一般財団法人日本森林林業振興会

〒112-0004 東京都文京区後楽一丁目7番12号

TEL：03-3816-2471

担当：中村 毅